

# Modelos de Vulnerabilidad Agrícola ante los efectos del cambio climático

## *Models of Agricultural Vulnerability to the effects of climate change*

*Claudia Hernández Ramírez*<sup>1</sup>

*Joel Bonales Valencia*<sup>2</sup>

*Carlos Francisco Ortiz Paniagua*<sup>3</sup>

Recibido 17 de julio de 2014 - Aceptado 15 de noviembre de 2014

### RESUMEN

La Vulnerabilidad Agrícola (VA) es el resultado de la medición de la variabilidad climática dentro de un contexto de vulnerabilidad social y sectorial, que ha ido agregando conceptos e indicadores que enriquecen y complementan el análisis de la seguridad alimentaria, en el entendido que la disponibilidad de un pronóstico corresponde no solo al derecho primordial de cualquier ser humano, sino a la supervivencia del mismo. La metodología de medición de esta variable depende estrictamente del alcance de la investigación y de la disponibilidad de datos de la región y del producto agrícola seleccionado. Los modelos utilizados hasta la fecha son tres: el modelo Estructural, el modelo Espacial y la Vulnerabilidad Agrícola.

**PALABRAS CLAVE:** Cambio Climático, Vulnerabilidad Agrícola, Modelo Estructural.

### ABSTRACT

The Agricultural Vulnerability (VA) is the result of the measurement of climate variability within a social and sectorial vulnerability context, that has been adding concepts and indicators that enrich and complement the analysis of food security, on the understanding that the availability of prognostic, corresponds not only to the fundamental right of any human being, but to the survival of himself. The methodology for measurement of this variable strictly depends on the scope of research and the data availability of the region and selected agricultural product. The models used to date are three: the Structural Model, Space Model and Agricultural Vulnerability.

**KEY WORDS:** Climate Change. Agricultural Vulnerability, Structural Model.

**JEL:** Q5, Q51, Q56.

1 Doctorante del Doctorado en Ciencias en Desarrollo Regional del Instituto de Investigaciones Económicas y Empresariales de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. claudia.hernandez04@hotmail.com

2 Profesor-Investigador del Instituto de Investigaciones Económicas y Empresariales de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. jbonales@icloud.com

3 Profesor-Investigador del Instituto de Investigaciones Económicas y Empresariales de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. carlinortiz@yahoo.com

## INTRODUCCIÓN

El número de desastres climáticos ha incrementado durante los últimos treinta años (INEGI, 2013). La agricultura siendo una de las principales actividades humanas no solo porque de ella depende la supervivencia humana, sino porque es una actividad económica fundamental para los habitantes de las diferentes regiones del mundo, se ha visto afectada debido a que depende en gran medida del comportamiento del clima y resulta vulnerable ante cualquier cambio ambiental. En este sentido el impacto que causan dichos desastres se verán afectados en la producción de alimentos, y en consecuencia en la economía y en la estabilidad social de las diferentes localidades.

Dada la importancia del tema, este artículo tiene como objetivo realizar un ejercicio comparativo de los diferentes modelos teóricos y metodológicos en el tema de Vulnerabilidad Agrícola, para dar a conocer el estado del arte de las herramientas que buscan medir la vulnerabilidad de un producto agrícola ante un impacto negativo ambiental como el CC, dentro de un contexto social y económico regional. El trabajo se divide en cinco partes. En primera instancia se establecen los antecedentes del término de Vulnerabilidad Agrícola (VA). En segundo lugar se muestra una clasificación de los modelos teóricos utilizados por los diferentes autores, de donde se establecen principalmente: el Modelo Estructural y el Espacial o Ricardiano. En tercer lugar se expone la metodología de los modelos mencionados, mostrando las ventajas y desventajas que ofrecen estos desde el punto de vista de esta autora. Seguido de la discusión y conclusiones.

El Cambio Climático (CC) en los últimos años ha cobrado gran importancia, no solamente por las causas de origen de este fenómeno, sino principalmente por el impacto que puede causar al ser humano. Actualmente, el número de desastres relacionados con el clima ha experimentado un significativo incremento durante los últimos treinta años, ya que de acuerdo con información de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres, las inundaciones y las tormentas muestran una fuerte tendencia de incremento pasando de 30 a 60 eventos por año a más de 150 en los últimos trece años. Por otra parte, los eventos por temperaturas extremas se han mantenido en un número que va de 20 a 30 por año; y, las sequías se han mantenido dentro del promedio de 15 a 17 por año (INEGI, 2013).

Sin embargo, el impacto de estos acontecimientos se ve incrementado por el conjunto de condiciones de inseguridad en las que se encuentran expuestas las comunidades, como es la insuficiente capacidad para responder y recuperarse de un desastre, y el comportamiento del hombre, que con su conducta puede contribuir a maximizar factores de riesgo. Esto significa que si ocurriese un desastre natural, este no solo dependería de dicho desastre, sino también de las características e infraestructura socioeconómicas del lugar (IPCC, 1997).

Es por ello que el Panel intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) expone que uno de los principales factores que se verá afectado por el fenómeno del CC es la producción de alimentos, ya que, por una parte, año con año se incrementa la demanda de alimentos debido al aumento en la población, y por otro, el gran reto de no solo mantener la producción agrícola, sino de intensificarla, ya que existen diversos factores que impiden lograr dicho objetivo, entre otros se encuentra la escorrentía química y biológica, la saturación y salinidad de suelos, erosión o compactación de suelos, cambio en el comportamiento de los ciclos de lluvias, las sequías, las heladas, la reducción la mano de obra, entre otros.

Esta situación muestra que en muchos casos la agricultura depende en gran medida del comportamiento del clima, y de igual manera del ser humano, y que cualquier cambio se resentirá ampliamente en la producción de alimentos y en las localidades.

Con base en lo anterior, el objetivo de este artículo es de realizar una comparación de los diferentes modelos teóricos metodológicos de la Vulnerabilidad Agrícola a nivel nacional e internacional, en el sentido de dar a conocer el estado del arte de las herramientas que buscan medir la vulnerabilidad que tiene un producto agrícola ante un impacto negativo ambiental como el CC, dentro del contexto social económico regional. Destacando las ventajas y desventajas de cada metodología y el crecimiento teórico de la Vulnerabilidad Agrícola.

El IPCC define que los impactos climáticos como “las consecuencias del cambio climático en sistemas naturales o humanos” (IPCC, 2001). Los tipos de impacto variarán de manera particular a cada una de las localidades que conforman la Tierra según sus características geográficas y/o socio-económicas.

Según Stern (2007), existen principalmente dos tipos de impactos, los globales y locales. Los primeros son aquellos que fungirán desde el ámbito global, tal como el aumento de la temperatura y la variación en la precipitación. Y los locales son aquellos particulares de cada localidad, y que determina las actividades de los habitantes, tales como la geografía, las actividades económicas, el desarrollo social, etc. (Stern, 2007).

Los impactos o efectos son el resultado de la combinación de una Amenaza y la Vulnerabilidad que presente el sistema en el cual suceda un evento. En ese sentido se puede decir que la amenaza es un peligro que causa una emergencia, y la vulnerabilidad a esa amenaza causa un desastre.

Un concepto fundamental en el análisis de riesgos de la agricultura ante el cambio climático es justamente el de vulnerabilidad. Desde hace algunas décadas, pero con mayor intensidad en las dos últimas, se ha manifestado un gran interés por analizar y medir los efectos del cambio climático en la actividad agrícola.

Los primeros análisis se basaban en encuestas de opinión a expertos en el tema y en experimentos de laboratorio que estudiaban los alcances de cambios

en la temperatura sobre la producción de algunos cultivos, cuyos resultados se utilizaban para predecir cómo se alterarían los cultivos bajo diferentes escenarios climáticos (Maddison, Manley, & Kurukulasuriya, 2007). Posteriormente, las investigaciones se enfocaron en las consecuencias directas del cambio climático sobre la producción de ciertos cultivos (principalmente, granos como el trigo y el maíz) y, más recientemente, se han incluido en el análisis las interacciones y canales de transmisión entre regiones así como una variedad más amplia de cultivos.

Liverman et al (1990) y Appendini et al (1994) definen la vulnerabilidad a desastres naturales como “las características de lugares o personas que puedan verse perjudicados por los eventos meteorológicos y geofísicos”, y añaden que “México se ha vuelto más vulnerable a la sequía en los últimos años”, debido a la expansión de la agricultura comercial y la reforma agraria, lo cual ha generado la creación de grupos campesinos pobres con limitada y/o falta de acceso a los recursos de tierras. Por otra parte menciona que la tecnología no siempre reduce la vulnerabilidad, ya que por una parte actividades como el riego, el uso de semillas mejoradas y fertilizantes puede reducir la vulnerabilidad en la agricultura, sin embargo estos avances también han sustituido las estrategias tradicionales de prevención de riesgos, tales como los cultivos mixtos.

Por otra parte, se señala que se ha elevado el cultivo de alto riesgo, el cual se está llevando a cabo en las zonas de alto riesgo, como las montañas, las regiones costeras y susceptibles a enfermedad trópicos húmedos. A menudo, esto se traduce en una dependencia de las importaciones extranjeras y en la propia degradación del medio ambiente.

Para Liverman et al (1990) la falta de tierras, suelos pobres, y la debilidad política, mezclada con inadecuadas tecnologías, hacen que algunas personas sean más vulnerables a la sequía que otras. Las variables de su modelo se dividen en seis grupos: el medio ambiente, la tecnología, las relaciones sociales, la demografía y la salud, de la tierra utilizar y la propiedad, y la economía y las instituciones.

Ordaz *et al* (2008), describe que los métodos utilizados para medir los resultados del cambio climático en el sector agropecuario se pueden clasificar en dos enfoques metodológicos: el estructural y el espacial.

Con base en lo anterior la Hipótesis que se contrastará en este artículo es: “El uso del método de la medición de Vulnerabilidad Agrícola de un producto depende de los efectos del cambio climático”.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para contrastar la hipótesis establecida, se establece el procedimiento y los recursos empleados para ello. Por lo cual, se realiza un comparativo teórico y metodológico de los métodos utilizados a nivel nacional e internacional por

los diferentes investigadores para medir la vulnerabilidad agrícola, los cuales se dividen en dos: el enfoque estructural y el enfoque espacial o Ricardiano, posteriormente, se establece una tabla de ventajas y desventajas de cada método empleado.

### **Modelos de vulnerabilidad agrícola utilizando el enfoque estructural**

Combina las respuestas biofísicas de los cultivos con las respuestas económicas de los agricultores. Una de las principales características de este modelo es que se basa en una función de producción empírica la cual predice los efectos del clima sobre la agricultura (Adams, Hurd, & Reilly, A review of impacts to US agricultural resources, 1999).

Este modelo en la actualidad se sigue utilizando para realizar estudios de tipo fenológico respecto al tema del CC, lo podemos ver claramente en trabajos realizados por Conde (Conde, Ferrer, & Liverman, 2000); Magaña (Magaña V. , Conde, Sánchez, & Gay, 1997); Monterroso (Monterroso, Conde, & Gómez, 2007), Palma (Palma, Conde, Morales, & Colorado, 2007), y sus efectos en el subsector agrícola.

Bajo este método se utilizan modelos interdisciplinarios que sirven para simular cambios en cultivos específicos. Se estima la respuesta de los cultivos ante escenarios climáticos en que se especifiquen promedios anuales por décadas o datos con una frecuencia diaria para un cierto conjunto de atributos climáticos, más comúnmente, la temperatura y la precipitación. Una vez obtenidos los efectos estimados, se incorporan en modelos económicos del sector agrícola para simular cambios en la oferta de los cultivos y los precios del mercado.

Con este enfoque, los agricultores y consumidores minimizan impactos o maximizan su bienestar, sujeto a las restricciones climáticas impuestas en el modelo. Tiene la ventaja de que permite obtener información detallada de las respuestas físicas, biológicas y económicas, así como los posibles ajustes. Una de sus desventajas es que para estudios agregados se requieren múltiples inferencias para grandes áreas y sistemas diversos de producción a partir de cultivos (Ordaz, Ramirez, Mora, Acosta, & Serna, 2010).

Los primeros estudios que se conocen se concentraron en las condiciones agroclimáticas del crecimiento de las plantas, los efectos en la producción regional de alimentos y los rendimientos económicos de dicha actividad, y en algunas implicaciones para la selección de cultivos, comercio internacional y políticas públicas. Entre estos estudios los trabajos de Warrick (1984) y Terjung et. al (1984). En el primero, a través de modelos de regresión, se simulan incrementos en la temperatura, similares a los ocurridos en la década de los años treinta, y se concluye que, como resultado, la producción de los cultivos declinaría.

Otro de los estudios más representativos es el de Easterling et al (1993) en donde también emplean datos sobre el clima para simular las posibles temperaturas que se observarían en algunas regiones de los Estados Unidos como consecuencia del cambio climático. A partir de sus resultados, éstos muestran que, en ausencia de modificaciones tecnológicas e incrementos en el CO<sub>2</sub>, el cambio climático traería como consecuencia reducciones importantes en la producción y con ello pérdidas económicas.

Estudios posteriores empezaron a incorporar como variable relevante la adaptación humana al cambio climático. El comportamiento gradual del cambio climático y los diferentes mecanismos por los que los agricultores se adaptan al clima observado para tratar de mitigar sus efectos negativos. Sin embargo aunque la inclusión de variables adaptativas de los agricultores en el análisis reduce la posibilidad de sobreestimar los aspectos negativos, si podría subestimar los impactos benéficos del cambio climático.

Posteriormente se expande el análisis económico de los efectos del cambio climático en la agricultura, al incluir un mayor número de adaptaciones a nivel de granja, sustituciones en los insumos y productos, efectos en los precios de las commodities, e impactos en el bienestar (Ordaz, Ramírez, Mora, Acosta, & Serna, 2010).

Por su parte, Darwin *et al* (1995) evalúan los efectos del cambio climático global sobre la agricultura mundial con base en un modelo que considera interacciones entre el clima, el sector agrícola, los recursos de agua, la producción, el comercio y el consumo. Ellos encuentran que la producción mundial declinaría si el cambio climático es suficientemente severo y si se obstaculiza la expansión de la tierra de cultivo, y que las pérdidas no serían homogéneas entre regiones. Mientras que en las regiones montañosas y del ártico se elevaría la cantidad de tierra cultivable, en las regiones tropicales decrecería la productividad agrícola ante una reducción en la humedad del suelo.

Metodológicamente el enfoque estructural se basa en una función de producción empírica para predecir los efectos del clima sobre los cultivos (Ordaz *et al*, 2008). En teoría, una función de producción es aquella que relaciona las cantidades de factores que se requieren (X) y la forma en que se combinan para producir un bien determinado (Y).

$$Y = f(X) \quad (1)$$

Una función de producción agrícola (Q) se puede expresar con base en variables endógenas, exógenas y de variables que representan la habilidad o capacidad de los agricultores. Las variables endógenas (x) incluyen trabajo, capital, fertilizantes y otros insumos. Las exógenas (z) comprenden variables climáticas. Las características de los agricultores (m) incluyen variables de capital humano.

En términos formales, la función de producción agrícola se representa de la siguiente forma:

$$Q_t = f(m, z, x) \quad (2)$$

Donde  $Q_t$  representa la producción agropecuaria o el rendimiento por hectárea de un producto determinado y el subíndice  $t$  indica el tiempo o el año considerado.

Así, la función de beneficios de un agricultor que produce  $n$  cultivos en el tiempo  $t$  se expresa de la forma:

$$P = \sum p_j Q_{jt} - w_t x_{jt} \quad j = 1, 2, \dots, n \text{ cultivos} \quad (3)$$

Donde  $p_j$  representa los precios del producto  $j$  y  $w$  los precios de los insumos del producto  $j$ .

Para la estimación de la función de producción se elige, por lo general, una forma funcional cuadrática, con el fin de poder identificar los niveles a los que el clima (temperatura y precipitación) tiene efectos positivos o negativos sobre la producción. Una vez estimadas las funciones de producción, es posible calcular el impacto sobre las distintas variables dependientes (índices de producción o rendimientos de cultivos) ante las variaciones de uno o más factores, como podrían ser: temperatura y precipitación. De esta manera, es posible obtener estimaciones de la producción o rendimiento máximo por cultivo y los valores óptimos de cada uno de los factores que determinan la producción o rendimiento de los cultivos.

### **Modelos de vulnerabilidad agrícola utilizando el enfoque espacial**

Los modelos que se inscriben dentro del enfoque espacial buscan estimar los efectos del cambio climático en la agricultura con base en las diferencias observadas en los valores de la tierra, la producción agrícola y otros impactos climáticos relacionados entre regiones, utilizando métodos estadísticos o de programación para analizar cambios en los patrones espaciales de la producción (Molua & Lambi, 2007).

Los análisis de este enfoque se basan en modelos Ricardianos, modelos de Equilibrio General Computable (CGE, por sus siglas en inglés), modelos de Sistemas de Información Geográfica, entre otros.

En el marco de un incremento esperado en la temperatura global, este enfoque metodológico busca identificar de qué manera aquellas regiones con climas más fríos podrían adaptarse a las prácticas seguidas en regiones más cálidas y sus implicaciones. Lo anterior se logra mediante un análisis estadístico entre áreas geográficas, por el que se separan aquellos factores que explican las diferencias de producción entre regiones. Uno de los supuestos implícitos



en este enfoque es que los agricultores estarán dispuestos y serán capaces de adoptar las prácticas y los cultivos prevalecientes en las regiones más cálidas (Ordaz, *et al*, 2008).

Entre las ventajas de este enfoque se encuentra el poder estimar el impacto directo del cambio climático en unidades, con un elevado grado de desagregación (a nivel de granja, por ejemplo) y tomar en consideración otras variables muy relevantes como la calidad de la tierra. No obstante, los resultados que se derivan de estos modelos dependen de que los datos disponibles sean representativos de las unidades consideradas y de la capacidad del análisis estadístico para aislar efectos proclives a confundirse.

A diferencia de los modelos inscritos en el enfoque estructural, los modelos espaciales asumen que los ajustes biológicos, físicos y económicos impuestos por el cambio climático a plantas, cultivos y agricultores se realizarán de manera automática. Ello elimina la necesidad de modelar las conductas adaptativas de plantas, cultivos y agricultores para, con los resultados obtenidos, estimar en una segunda etapa los efectos del clima en la variable económica de interés de cierto tipo de cultivo. Sin embargo, estos modelos sólo consideran aquellas variables de conductas adaptativas que se refieren al largo plazo y no a las relacionadas con impactos de ajuste en el corto y mediano plazos (Ordaz, *et al*, 2008).

Dentro de los modelos de este enfoque, el Ricardiano ha adquirido especial notoriedad. Este modelo se basa en la teoría de que, en mercados competitivos, el valor de la tierra representa el valor presente de los ingresos netos esperados derivado del uso eficiente de la tierra. Por medio de técnicas de regresión, el modelo Ricardiano estima los efectos de variaciones en el clima y factores económicos y no económicos en el valor de la tierra agrícola, con información desagregada a cierto detalle.

Schlenker, *et al* (2006), con base en información de diferentes condados de los Estados Unidos, analizan el impacto del calentamiento global en la agricultura. Emplean como variables independientes medidas climáticas, características del suelo y condiciones socioeconómicas. Sus resultados muestran de moderadas ganancias a grandes pérdidas para los condados que analizan. Molua y Lambi (2007) emplean un enfoque Ricardiano para medir la relación entre el clima y la ganancia neta de los cultivos con base en información de 800 granjas agrícolas de Camerún. Concluyen que la ganancia neta disminuye a medida que la precipitación decrece y la temperatura aumenta.

Con una muestra de 2003 granjas en siete países sudamericanos, Mendelsohn y Seo (2007) encuentran evidencia empírica de que el valor de la tierra es sensible a cambios climáticos. Incrementos en la temperatura tienen efectos negativos en el valor de la tierra, mientras que una mayor precipitación tiende a elevar el flujo de ingresos futuros de los productores. Sus resultados muestran que, en un escenario climático bastante severo, el valor de la tierra disminuirá 30% para el 2100. Dichos resultados también indican que el cambio



climático tendrá efectos, no sólo en el flujo esperado de ingresos, sino también en el tipo de actividad productiva (producción agrícola vs producción pecuaria) y tipo de irrigación (riego vs temporal) que los productores adoptarán.

Cline (2007) hace una comparación de los resultados obtenidos usando ambos enfoques. Se observa que, en la gran mayoría de casos, el efecto del cambio climático es siempre negativo en los países incluidos en su estudio. Al combinar los resultados de ambos modelos, se tiene que la producción agrícola global caerá 16% para 2080. En concordancia con Mendelsohn, Dinar y Sanghi (2001), los mayores efectos recaerán en países en vías de desarrollo, con pérdidas de alrededor del 25%, mientras que para países industrializados la pérdida estimada es de sólo 6%.

Independientemente del enfoque metodológico en el que se inscriban, los estudios realizados a nivel de un país/región individual brindan las primeras estimaciones de cómo el cambio climático podría afectar los mercados agrícolas y la utilización de insumos. Por lo general, los resultados muestran de pequeñas a grandes reducciones en la producción de cultivos, pero posibles ganancias netas en el bienestar del agricultor, una vez adaptado al cambio, así como mayores precios de los cultivos y efectos del CO<sub>2</sub> en el crecimiento de los cultivos.

De acuerdo con Darwin, *et al* (1995), existen dos limitaciones importantes que los estudios a nivel país/región no consideran: i) los efectos del cambio climático en otras regiones (pues asumen que el clima fuera del área de estudio se mantiene constante), y ii) el papel del comercio mundial en diseminar los efectos entre las distintas regiones.

Por otra parte, los trabajos que estudian la agricultura a través de modelos CGE respecto de otros sectores económicos y permiten el movimiento de recursos entre sectores en respuesta a los incentivos económicos. Sin embargo, si bien los CGE tienen la ventaja de tomar los precios como endógenos y consideran vínculos intersectoriales, esto lo hacen a costa de agregaciones muy drásticas, en las que los diversos sectores espaciales o económicos están caracterizados por una empresa o granja representativa (Schlenker y otros, 2006).

Entre los estudios basados en CGE, destaca el de Rosenzweig y Parry (1994), quienes examinaron los efectos del cambio climático en la producción mundial de cereal y la distribución de dichos impactos entre los países desarrollados y en desarrollo para el año 2060.

Por su parte, el enfoque especial tiene entre sus ventajas que permite corregir los posibles sesgos de sobrestimación de la función de producción. Además, al medir directamente los precios agrícolas considera los impactos directos del clima en los diferentes cultivos, así como la sustitución de diferentes insumos, la introducción de diferentes actividades y otras adaptaciones potenciales a climas distintos (Passel, *et al* 2008). También, permite analizar cómo los agricultores tienen la posibilidad de responder a futuros cambios en el clima mediante la búsqueda de una mayor renta de la tierra (diferentes usos

de la tierra). Entre sus desventajas se tiene que no permite conocer los efectos sobre cultivos específicos ni permite identificar umbrales a partir de los cuales el clima puede afectar positiva o negativamente.

Metodológicamente el modelo especial fue desarrollado para explicar la variación del valor de la tierra entre diferentes zonas climáticas (Meldensohn & Nordhaus, 1999); además, ha sido uno de los enfoques líderes en el análisis de los efectos directos del cambio climático en la productividad agrícola. Este modelo es un análisis de sección cruzada que ha sido ampliamente aplicado en el estudio de los efectos del cambio climático en la productividad agrícola. Debe su nombre a David Ricardo, quien hizo la observación de que el valor de la tierra muestra su productividad neta por el ingreso neto de la tierra ( $\pi$ ). Se asume que los productores agrícolas maximizan el ingreso neto ( $\pi$ ) dado por la siguiente ecuación (Ordaz *et al*, 2010):

$$\pi = \sum p_i Q_i(m, z, x) - \sum w_x x \quad (4)$$

Donde  $p_i$  es el precio de mercado del cultivo  $i$ ,  $x$  un vector de insumos,  $w_x$  el vector de precios de los insumos,  $z$  un vector de variables climáticas y  $m$  representa un vector de otras variables que afectan la producción del cultivo  $i$ . Los productores eligen  $x$  para maximizar el ingreso neto de cada cultivo, dadas las características intrínsecas a la unidad de producción (temperatura, precipitación, tipo de suelo, acceso a mercados, entre otros) y el precio de mercado de los productos. La función óptima resultante es:

$$\pi = f(p_i, m, z, w_x) \quad (5)$$

## RESULTADOS

En la búsqueda del mejor modelo de vulnerabilidad, en este artículo se realizó una investigación bibliográfica de los principales investigadores (nacionales e internacionales) que han realizado mediciones de "Vulnerabilidad Agrícola" ante los efectos del Cambio Climático, se establece un breve comparativo de las diferentes propuestas teóricas que han alimentado el aporte de esta teoría, el cual se presenta en el Cuadro 1.

Metodológicamente los investigadores antes mencionados han proporcionado distintos aportes. A continuación se muestran las ventajas y desventajas de cada uno de los enfoques:

- a. Enfoque estructural. Combina estudios fenológicos con respuestas económicas de los agricultores a través de una función de producción. A continuación se muestra la tabla de ventajas y desventajas:

<b>Cuadro 1</b>	
<b>Investigador</b>	<b>Aporte teórico de la vulnerabilidad agrícola</b>
Liverman <i>et al</i> (1990) y Apendini <i>et al</i> (1994)	La Vulnerabilidad a Desastres Naturales son “ <i>las características de lugares o personas que puedan verse perjudicados por los eventos meteorológicos y geofísicos</i> ”.
IPCC, 2001	La Vulnerabilidad es el “ <i>grado de susceptibilidad o de incapacidad de un sistema para afrontar los efectos adversos del Cambio Climático, y en particular la Variabilidad Climática y los fenómenos extremos</i> ”
Maddison, Manley, y Kurukulasuriya <i>et al</i> , (2007)	La Vulnerabilidad Agrícola se basa en encuestas de opinión y experimentos con cambios en la temperatura de cultivos.
Santibáñez, <i>et al</i> (2008)	“ <i>La Vulnerabilidad Global de la agricultura resulta de la integración de criterios físicos (impactos climáticos sobre la productividad) y criterios sociales (nivel educacional, acceso a la tecnología, capital disponible, entre otros)</i> ”.
Ordaz, <i>et al</i> (2010)	La Vulnerabilidad Agrícola se mide a través de la estimación del Cambio Climático en la agricultura.
Gobierno de la República (2012)	La Vulnerabilidad agrícola es el resultado de la medición de la variabilidad climática en un contexto de vulnerabilidad social y vulnerabilidad sectorial.

Fuente: Elaboración propia en base a información obtenida de Liverman *et al* (1990) y Apendini *et al* (1994), Santibáñez, *et al* (2008), Ordaz, *et al* (2010), IPCC, 2001, Gobierno de la República (2012).

<b>Cuadro 2</b>	
<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Los productores maximizan bienestar y minimiza el impacto.	Se requieren múltiples inferencias para grandes áreas de sistemas de producción.
Obtención de información fenológica detallada y económica de respuesta.	Supone las acciones de adaptación y estrategias de mitigación.
Muestra resultados reales de la relación Rendimientos – Condiciones Climáticas.	No toma en cuenta el Sistema Social.

Fuente: Elaboración propia en base a información de Adams (1998), Easterling *et al* (1993), y Darwin *et al* (1995).

- b. Enfoque Espacial o Ricardiano. Se basa en la teoría de los mercados competitivos, el Valor de la Tierra = Ingreso obtenido por el agricultor a través de una función de producción. A continuación se muestran las principales ventajas y desventajas:

**Cuadro 3**

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Estima el impacto al CC en unidades altamente desagregadas.	Dependen de la calidad, cantidad y disponibilidad de datos de panel.
Elimina la necesidad de modelar la adaptación de plantas.	Asumen ajustes biológicos, físicos y económicos por los productores ante los efectos del CC.
Permite responder al CC obteniendo una mayor renta de la Tierra	Sólo consideran conductas adaptativas del largo plazo
Utiliza modelos de medición de variabilidad climática con métodos estadísticamente estrictos (CGE, SIG).	Utiliza métodos de medición de variabilidad climática de gran malla (200 x 200 km)

Fuente: Elaboración propia en base a información obtenida de Molua, *et al* (2007), Rosenweis, *et al* (1994), Ordaz, *et al* (2010).

- c. Modelo de Vulnerabilidad Agrícola. Estima la vulnerabilidad de un sistema productivo que se encuentra inmerso dentro de una sociedad. A continuación se muestran las ventajas y desventajas:

**Cuadro 4**

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Estima el impacto al CC en unidades altamente desagregadas.	Dependen de la calidad, cantidad y disponibilidad de datos de panel.
Integra el sistema social	El resultado depende de tablas de ponderación que podría maximizar o minimizar algunos aspectos.
Estima el impacto del CC en el sistema tridimensional.	Utiliza modelos medición de variabilidad climática de amplia red (200 x 200 km)

Fuente: Elaboración propia en base a información de Santibáñez *et al* (2008), Gobierno de la República (2012), Ordaz *et al* (2010).

El modelo de Vulnerabilidad Agrícola permite el uso de cualquiera de los dos modelos anteriores o una combinación de ambos para realizar la medición de variabilidad climática. En este sentido, el modelo de Vulnerabilidad utiliza las ventajas del modelo Ricardiano principalmente al hacer uso de modelos estadísticamente comprobados. Sin embargo cabe resaltar que ninguno de los dos modelos ofrece la opción de realizar estas mediciones en localidades menores de 200 km<sup>2</sup>, situación que limita el uso de esta herramienta solo para regiones de gran dimensión. Siendo una limitante para estudios municipales o locales.

## DISCUSIÓN

Tomando como base la información y análisis anterior, se puede establecer que el uso o selección de cada modelo depende estrictamente del alcance y disponibilidad de datos confiables de la región seleccionada. Lo que significa que cada modelo es útil de acuerdo a las necesidades de cada estudio. Sin embargo para poder estimar la Vulnerabilidad Agrícola de una región (independientemente de su tamaño), es imprescindible establecer un sistema holístico conformado por tres ámbitos principales que son: el sistema ambiental, sistema económico y sistema social, pero además debería incluirse a esta medición un aspecto social que a la fecha no se ha integrado en alguno de los casos estudiados y corresponde a la verdadera importancia de medir la Vulnerabilidad de un producto agrícola, y me refiero a la Seguridad Alimentaria, ya que si bien es importante conocer el futuro de la agricultura como factor económico y social, incluso factor cultural de gran importancia para los pueblos y naciones, no debemos olvidar que el primer propósito de esta actividad es la alimentación de la población, independientemente de los ingresos o del comercio que de este se provean los pueblos. Sin alimentos no podrá sobrevivir el ser humano.

Por ello, se propone que el modelo de Vulnerabilidad Agrícola se conforme por las siguientes dimensiones:

$$VA = VSS + VSP + VVC + VSAlim \quad (6)$$

Donde:

VA = Vulnerabilidad Agrícola

VSS = Vulnerabilidad del Sistema Social

VSP = Vulnerabilidad del Sistema Productivo

VVC = Vulnerabilidad a la Variabilidad Climática

VSAlim = Vulnerabilidad a la Seguridad Alimentaria

Si bien la Seguridad Alimentaria (SA) corresponde a la dimensión social, se propone se maneje de manera independiente, debido a que el valor de la SA equivale a la supervivencia de hombre en sí, sin este, no podría existir el resto de los sistemas. En este entendido el valor de la (SA) se equipara con el valor del sistema económico y el sistema social.

Las variables de medición provienen de la FAO (2006):

1. Disponibilidad de alimentos: La existencia de cantidades suficientes de alimentos de calidad adecuada, suministrados a través de la producción del país o de importaciones (comprendida la ayuda alimentaria).
2. Acceso a los alimentos: Acceso de las personas a los recursos adecuados (recursos a los que se tiene derecho) para adquirir alimentos apropiados y una alimentación nutritiva. Estos derechos se definen como el conjunto

de todos los grupos de productos sobre los cuales una persona puede tener dominio en virtud de acuerdos jurídicos, políticos, económicos y sociales de la comunidad en que vive (comprendidos los derechos tradicionales, como el acceso a los recursos colectivos).

3. Utilización: Utilización biológica de los alimentos a través de una alimentación adecuada, agua potable, sanidad y atención médica, para lograr un estado de bienestar nutricional en el que se satisfagan todas las necesidades fisiológicas. Este concepto pone de relieve la importancia de los insumos no alimentarios en la seguridad alimentaria.
4. Estabilidad: Para tener seguridad alimentaria, una población, un hogar o una persona deben tener acceso a alimentos adecuados en todo momento. No deben correr el riesgo de quedarse sin acceso a los alimentos a consecuencia de crisis repentinas (por ej., una crisis económica o climática) ni de acontecimientos cíclicos (como la inseguridad alimentaria estacional). De esta manera, el concepto de estabilidad se refiere tanto a la dimensión de la disponibilidad como a la del acceso de la seguridad alimentaria.

En ese sentido, se observa que el término de Vulnerabilidad Agrícola aún se encuentra en proceso de construcción hasta encontrar todas aquellas variables y preceptos que construyan un concepto holístico que contemplen todos los aspectos en los cuales la alimentación intervenga.

## CONCLUSIONES

Los métodos Estructurales proporcionan el conocimiento de la fenología del producto agrícola y lo combinan con diferentes variables económicas de regiones dentro de una función de producción. Esto significa que resulta muy favorable para el conocimiento biológico y del posible cambio en el rendimiento del cultivo dentro de un escenario de (CC). De esa manera se puede crear una prospección real a mediano o largo plazo y crear un programa de respuesta regional ante los efectos resultantes de (CC). Sin embargo es importante destacar que la interacción de los resultados de la variabilidad climática en los productos, respecto a variables en su mayoría económicas, solo responden a una parte del efecto total que se generará después de un acontecimiento ambiental como el (CC), ya que deja de lado un aspecto que forma parte integral de la región, y que al final del día genera situaciones de riesgo que podrían modificar el resultado prospectado de este modelo, de un escenario real.

El modelo Ricardiano o Espacial se basa en la búsqueda de Valores de la Tierra a través de una función de producción. En teoría el modelo busca explicar la importancia de los efectos del CC si éste genera un cambio en el rendimiento o la producción del cultivo, el cual genere una modificación negativa en el Ingreso Neto del agricultor y por ende en el Valor de la Tierra (LV).

El modelo tiene la ventaja de estimar el escenario de (CC) a través de modelos de Equilibrio General Computable (CGE) y Sistemas de Información Geográfica (SIG), los cuales permiten una visualización y un mejor análisis de aquellos lugares con mayor o menor vulnerabilidad. Sin embargo uno de los principales problemas es el hecho de que el tamaño de malla o la extensión de la superficie de estudio para medir la afectación climática debe ser por lo menos 200 x 200 km, por lo cual este tipo de herramientas no se puede utilizar para regiones de menor tamaño o incluso igual a la muestra (pequeñas ciudades, poblaciones, rancherías, granjas o incluso municipios), y “dependen” de la calidad, cantidad y disponibilidad de datos de panel para realizar la medición de la unidad o región deseada. Esto significa que el uso o selección de un modelo depende estrictamente del alcance de la investigación y principalmente de la disponibilidad de datos de la región y del producto agrícola seleccionado. Por ello se estima que cada modelo es útil de acuerdo a las necesidades de cada estudio.

La Vulnerabilidad Agrícola es todavía un término en construcción, que ha ido agregando conceptos e indicadores que enriquecen y complementan el análisis de la seguridad alimentaria, en el entendido que la disponibilidad de datos corresponde no solo al derecho primordial de cualquier ser humano, sino a la supervivencia del mismo.

Es así como a lo largo de este artículo se ha realizado un comparativo de los diferentes modelos teóricos y metodológicos en el tema de Vulnerabilidad Agrícola a nivel nacional e internacional, en el sentido de conocer el estado del arte de las herramientas que buscan medir la vulnerabilidad que tiene un producto agrícola ante un impacto negativo ambiental como el CC, dentro de un contexto social y económico regional. Destacando las ventajas y desventajas de cada metodología y el crecimiento teórico del término Vulnerabilidad Agrícola. Asimismo, se establece una propuesta al modelo de (VA) que incluye a la Seguridad Alimentaria.

Con ello se cumple el objetivo de este artículo y la hipótesis de investigación queda comprobada mediante la metodología utilizada.

#### LITERATURA CITADA

- Ackerman, F., & Stanton, E. (2012, April 4). Climate Risks and Carbon Prices: Revising the Social Cost of Carbon. *Economics The Open Access, Open Assesment E-journal*, 6(2012-10).
- Adams, R., Hurd, B., & Reilly, J. (1998). Effects of global climate change on agriculture: an interpretative review. *Climate Research*, 11, 19-30.
- Adams, R., Hurd, B., & Reilly, J. (1999). *A review of impacts to US agricultural resources*. Oregon State University: Pew Center on Global Climate Change.



- Appendini, K., & Liverman, D. (1994). Agricultural policy, climate change and food security in Mexico. *Food Policy*(19 (2)), 149-164.
- Beckman, J., & Mahoney, T. (1998). The Maunder Minimum and Climate Change: Have Historical Records Aided Current Research? (H. A.-R. U. Grothkopf, Ed.) *ASP Conference Series*, 153.
- Blankie, P., Cannon, T., Davis, I., & Wisner, B. (1996). *Vulnerabilidad: el Entorno Social, Político y la Economía de los Desastres*. Tercer Mundo Editores.
- Conde, C., Ferrer, R., & Liverman, D. (2000). Estudio de la vulnerabilidad de la agricultura de maíz de temporal mediante el modelo ceres-maize. In C. Gay, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto Nacional de Ecología, & US Country Studies Program (Eds.), *México: una visión hacia el siglo XXI. El cambio climático en México* (p. 220). D.F., México.
- Conde, C., Ferrer, R., Gay, C., & Araujo, R. (2004). *INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGIA*. Retrieved 2012, from <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/437/conde.html>
- Crowley, T., & North, G. (1988, Mayo). Abrup Climate Change and Extinction Events in Earth. *Science AAAS*, 240(4855), 996-1002.
- Darwin, R., Tsigas, M., Lewandrowski, J., & Raneses, A. (1995). *World Agriculture and Climate Change*. US.
- Downing, T. (2005, November). *Stockholm Environment Institute*. Retrieved Agosto 2012, from [http://www.pik-potsdam.de/research/transdisciplinary-concepts-and-methods/archiv/projects/project-archive/favaia/pubs/downing\\_etal\\_2005.pdf](http://www.pik-potsdam.de/research/transdisciplinary-concepts-and-methods/archiv/projects/project-archive/favaia/pubs/downing_etal_2005.pdf)
- Easterling, W., Crosson, P., Rosenberg, N., Mckenney, M., Katz, L., & Lemon, K. (1993). *Agricultural impacts of and responses to climate change in the Missouri-Iowa-Nebraska-Kansas*. Nebraska.
- Enrique Vargas, J. (2002). *Políticas públicas para la reducción de la vulnerabilidad frente a los desastres naturales y socio-naturales*. CEPAL-ECLAC. Santiago de Chile: CEPAL-ECLAC.
- Foschiatti, A. (n.d.). *Vulnerabilidad global y pobreza. Consideraciones conceptuales*. Charco, Argentina: Universidad Nacional del Noroeste .
- Garduño, R. (2004). *INE*. Retrieved 2011, from <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/437/rene.html>
- Gobierno de la Republica. (2012). *Estrategia Nacional del Cambio Climático. Anexo Metodológico del Diagnóstico de Adaptación*. México, DF.
- Ibarrarán, M., & Rodríguez, M. (2007). *Estudio sobre Economía del Cambio Climático*. Universidad Iberoamericana de Puebla, Instituto Nacional de Ecología.
- IPCC. (1997). *Impactos regionales del cambio climático. Evaluación de la vulnerabilidad*.
- IIPCC. (2001). *www.ipcc.ch*. Retrieved 2008, from <http://www.ipcc.ch/pdf/climate-changes-2001/synthesis-syr/spanish/wg2-summaries.pdf>

- Liverman, D. (1990). *Drought Impacts in Mexico: Climate, Agriculture, Technology and Land Tenure in Sonora and Puebla*. PA: Pennsylvania State University, University Park.
- López, R., J., Mora, E. M., & Tovar, A. (2010, Enero-Junio). Variaciones temporales y espaciales de la especialización productiva del maíz en Venezuela (1984-2004). *AGROALIMENTARIA*, 16(30).
- Maddison, D., Manley, M., & Kurukulasuriya, P. (2007). *The Impact Of Climate Change On African Agriculture : A Ricardian Approach*. World Bank.
- Magaña R., V. (2010, Enero). *INECC*. Retrieved Julio 2012, from [http://www.inecc.gob.mx/descargas/cclimatico/2010\\_guia%20escenarios\\_cc](http://www.inecc.gob.mx/descargas/cclimatico/2010_guia%20escenarios_cc)
- Magaña, V., Conde, C., Sanchez, O., & Gay, C. (2000). Evaluación de escenarios regionales de clima actual y de cambio climático futuro para México. In C. Gay, *México: una visión hacia el siglo XXI. El cambio climático en México* (p. 220). D.F., México.
- Mendelsohn, R., & Seo, N. (2007). *Changing Farm Types and irrigation as an adaptation to climate change in Latin American agriculture*. World Bank.
- Molua, E., & Lambi, C. (2007). *The Economic Impact of Climate Change on Agriculture in Cameroon*. Pretoria, South Africa: The World Bank.
- Monterroso, A., Conde, C., & Gómez, J. (2007). Vulnerabilidad y Riesgo en Agricultura por cambio climático en la Región Centro del Estado de Veracruz, México. *Zonas áridas*.
- Ordaz, J., Ramírez, D., Mora, J., Acosta, A., & Serna, B. (2010). *Costa Rica. Efectos del cambio climático sobre la agricultura*. CEPAL, Comisión Económica para América Latina, México, D.F.
- Palma, B., Conde, C., Morales, R., & Colorado, G. (2007). *Análisis de la Vulnerabilidad Agrícola. Plan estatal de Acción para el Estado de Veracruz, México*. México: Memoria de congreso.
- Passel, S., Massetti, E., & Mendelsohn, R. (2008). *A Ricardian analysis of the impact of climate change on European agriculture*. Yale University: Fondazione Eni Enrico Mattei.
- PNUD. (2006). *Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo*. Retrieved 2013, from <http://origin-hdr.undp.org/es/informes/mundial/idh1996/capitulos/espanol/>
- Roseznweig, C., & Parry, M. (1994). Potential Impact of Climate Change on World Food Supply. *Nature*, 367, 133-138.
- Santibañez Q., F., Santibañez, V., P., & Solis, L. (2008). *Análisis de vulnerabilidad del sector silvopropagadero, recursos hídricos y edáficos de Chile frente a escenarios del cambio climático*. Centro de Agricultura y Medio Ambiente y Facultad de ciencias Agronómicas, Universidad de Chile.
- Schlenker, W., Hanemann, M., & Fisher, A. (2006). The Impact of Global Warming on U.S. Agriculture: An Econometric Analysis of Optimal Growing Conditions. *Review of Economics and Statistics*, 88(1), 113-125.

- Singh, R., Murty, H., & Gupta, A. (2009). *An overview of sustainability assessment methodologies*, *Ecological Indicators*.
- Terjung, D., Liverman, M., & Hayes, J. (1984). Climate change and water requirements for grain corn in the North American great plain. In *Climate Change* (pp. 193-220). USA: University of California, Los Angeles.
- Villers R., I., & Trejo Vazquez, I. (2004). *Vulnerabilidad de las zonas potencialmente aptas para maíz de temporal en México ante el cambio climático*.
- Warrick, R. (1984). *The possible impacts on the wheat production of a recurrence of the 1930s drought in the U.S. grain plains*. ISA.