

# Efectos del cambio climático sobre la producción de papa en el municipio de Villapinzón (Cundinamarca-Colombia) a partir del Enfoque Ricardiano

## Effects of the climate change over the potato production in the municipality of Villapinzón (Cundinamarca-Colombia) based into the Ricardian approach

### *Efeitos das mudanças climáticas sobre a produção de batata na cidade de Villapinzón (Cundinamarca-Colômbia) a partir de abordagem ricardiana*

Krystle Danitza González Velandia<sup>1</sup> & Katia Cecilia Galera Gelvez<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ingeniera Agrícola, Magister en Desarrollo Sustentable y Gestión Ambiental. <sup>2</sup>Economista, Especialista en Evaluación Social de Proyectos, Magister en Economía.

<sup>1</sup>Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá D.C. Colombia.

<sup>2</sup>Investigadora económica. Universidad de los Andes. Bogotá, D.C. Colombia.

<sup>1</sup>kdgonzalezv@unal.edu.co, <sup>2</sup>k-galera@uniandes.edu.co

#### Resumen

La agricultura es uno de los sectores más vulnerables al cambio climático debido a su directa dependencia de las condiciones climáticas. Para medir los efectos del cambio climático sobre la agricultura se han desarrollado diferentes metodologías, dentro de éstas aparece el enfoque Ricardiano, el cual permite cuantificar los efectos del cambio climático asumiendo que el valor del suelo va a depender de su productividad, y de la capacidad de adaptación de los productores. La presente investigación, muestra los efectos del cambio climático sobre la producción de papa en el municipio de Villapinzón (Cundinamarca-Colombia) a partir del enfoque Ricardiano, en búsqueda de pronósticos que reflejen efectos exclusivos a nivel local. En este caso se encontró que los efectos están ligados a la disponibilidad de agua, acceso a servicios básicos, al casco urbano, y además se

encontró que los efectos asociados a aumentos de temperatura en la producción de papa van a ser positivos, ya que el precio de la tierra tenderá a incrementarse para el 2040, 2070 y 2100.

**Palabras clave:** cambio climático, Colombia - Villapinzón, agricultura, papa, enfoque Ricardiano.

#### Abstract

Agriculture is one of the most vulnerable sectors to climate change because of its direct dependence on climatic conditions. To measure the effects of climate change on agriculture different methodologies have been developed, within these appears the Ricardian approach, which allows to quantify the effects of climate change by assuming that the value of the land is going to depend on their productivity, and the adaptive capacity of producers.

This research shows the effects of climate change on potato production in the municipality of Villapinzón (Cundinamarca-Colombia) based on Ricardian approach, in search of forecasts that reflect unique effects at the local level. In this case, it was found that the effects are linked to the availability of water, access to basic services, the downtown, and in addition, it was found that the effects associated with temperature increases in potato production are going to be positive, because the price of land will tend to be increased for 2040, 2070 and 2100.

**Key-words:** climate change, Colombia - Villapinzón, agriculture, Ricardian approach

### Resumo

A agricultura é um dos sectores mais vulneráveis às mudanças climáticas devido à sua dependência direta das condições meteorológicas. Para medir os efeitos das mudanças climáticas na

agricultura têm desenvolvido metodologias diferentes dentro deles a abordagem Ricardiano, que permite quantificar os efeitos das mudanças climáticas, assumindo que o valor do solo vai depender de sua produtividade e capacidade de adaptação dos produtores. Esta pesquisa mostra os efeitos das mudanças climáticas sobre a produção de batata na cidade de Villapinzón (Cundinamarca-Colômbia) a partir de abordagem Ricardiano em busca de projeções que refletem efeitos de exclusividade local. Neste caso, verificou-se que os efeitos estão ligados à disponibilidade de água, acesso a serviços básicos para a área urbana, e também se encontrou que os efeitos associados com o aumento da temperatura na produção de batata serão positivos, uma vez que os preços da terra tendem a aumentar em 2040, 2070 e 2100.

**Palavras-chave:** alterações climáticas, Colômbia - Villapinzón, agricultura, batata, abordagem Ricardiano.

### Introducción

El cambio climático ha venido tomando importancia llegando a ocupar un lugar privilegiado en acuerdos mundiales y en el establecimiento de políticas, debido a las implicaciones que puede tener en el bienestar humano y en los ecosistemas del planeta (Protocolo de Kioto sobre el cambio climático, Acuerdo de Copenhague, Compes 3242, entre otras). Dentro de los efectos que se prevén están las variaciones en el clima como días y noches más cálidas, incrementos en precipitación en algunas zonas, de sequías en otras y aumentos en el nivel de mar. En el sector agrícola estas variaciones pueden generar otros efectos como mejores cosechas en zonas frías, problemas de producción en zonas cálidas, tierras que pueden perder productividad por ser propensas a inundación, entre otros (IPCC, 2007, 2013), afectando así la productividad agrícola, y consecuentemente la seguridad alimentaria de un país o región (Mora, Ramírez & Ordaz, 2010).

A partir de esta situación se han adelantado estudios a nivel mundial, nacional y local en el sector agrícola donde se han encontrado diferencias marcadas entre las distintas regiones sobre los efectos que va a tener el cambio climático, siendo posible que en un país algunas zonas y productos se vean beneficiados, mientras que otros significativamente perjudicados (Mendelsohn, Nordhaus & Shaw, 1994, 1996; Ordaz *et al*, 2009a; 2010). Para el análisis de estos efectos en el sector agrícola existen estudios basados en simulaciones controladas en laboratorio, sustentadas en proyecciones meteorológicas y análisis que se basan en la cuantificación económica. Dentro de los análisis económicos usados aparece el enfoque Ricardiano (Mendelsohn, Nordhaus & Shaw 1994, 1996), caracterizado por analizar el cambio climático desde un contexto socioeconómico, considerando los efectos del clima, condiciones económicas y sociales sobre el valor del suelo, y a diferencia

de otros estudios incorporando la capacidad de adaptación por parte de los agricultores, permitiendo así medir la sensibilidad del valor del suelo por hectárea al cambio climático.

Como el sector agrícola se considera uno de los sectores más sensibles a cambios climáticos, se estima una reducción general de los rendimientos potenciales de los cultivos y una disminución en la disponibilidad de agua para la agricultura y la población en muchas partes del mundo. Los estudios además muestran que puede haber efectos regionales muy marcados y que en algunos casos se pueden perturbar los sistemas productivos (IPCC, 2001); esta afirmación genera inquietudes sobre los efectos que el cambio climático puede llegar a tener a nivel local en Colombia para sus diferentes productos agrícolas; en este caso esta investigación se centra en la producción de papa, partiendo de que es un producto indispensable en la canasta familiar (Martínez *et al.*, 2005), y que se produce en más de 16 departamentos del país. A nivel local, el municipio de Villapinzón (Cundinamarca) ha estado entre los principales productores de papa en el país, por ende, a partir de esta situación surge la necesidad de saber que efectos va a generar el cambio climático en este municipio sobre la producción de papa en los próximos 40, 70 y 100 años; de forma que se puedan construir escenarios que permitan la formulación de estrategias y políticas orientadas a proteger el sector agrícola y los sectores que éste sostiene. Por esta razón el objetivo de esta investigación se centra en establecer los efectos del cambio climático sobre la producción de papa en el municipio de Villapinzón (Cundinamarca), utilizando el enfoque Ricardiano.

## Producción de papa en el municipio de Villapinzón

La papa se encuentra cultivada a lo largo de la región Andina entre los 2.000 y 3.500 msnm. El 90% de los productores son pequeños productores con cerca al 45% del total de la producción de papa en el país (DANE, 2001). Los sistemas de producción se

pueden clasificar en sistemas manuales y mecanizados, siendo los pequeños productores los que lo hacen de forma manual y los grandes productores de forma mecanizada. Los fertilizantes y agroquímicos pueden llegar a valer el 33% de la inversión, pero hay casos en que con sistemas agroecológicos en asociación con otros cultivos se ha logrado disminuir el consumo de fertilizantes (FEDEPAPA, 2010). Cundinamarca es el principal productor, con municipios representativos como Tausa con participación del 12,8%, seguido por Villapinzón con el 11%, Guatavita con el 7,8%, San Cayetano con el 7,1% y Zipaquirá con 5,3% del total. De estos municipios cabe resaltar que Villapinzón siempre ha estado presente dentro de los principales productores del departamento ocupando en varias ocasiones el primer lugar como productor (Ministerio de ambiente vivienda y desarrollo territorial y Federación colombiana de productores de papa, 2004). El municipio de Villapinzón está ubicado a una altitud de 2.715 msnm, más del 70% de la población es rural y principalmente dedicada a actividades agrícolas, la mayoría del territorio del municipio está destinada a la producción de papa, principalmente microfundios (menos de 5 ha) representando el 51,1% del área sembrada. El estudio del DANE (2001) reflejó que predomina la tierra arrendada con 52,2% del área y el conocimiento empírico del cultivo y la experiencia; el estudio también evidenció que los productores más jóvenes tienen un nivel de escolaridad mínimo de primaria mientras que los productores de mayor edad presentan ningún nivel de escolaridad y que la principal fuente de financiación son los recursos propios de los productores y el crédito extra bancario. El 91% de las unidades de producción de papa del municipio aprovechan el agua lluvia, por esta razón las épocas de lluvia determinan los periodos de siembra y cosecha.

## Enfoque Ricardiano

David Ricardo fue un economista inglés, nacido el 19 de abril de 1772 en Londres. Su obra más importante es “Principios de economía política y tributación” (1871), dentro de sus postulados y el

que da sentido a esta investigación, se centra en que las diferencias en la calidad de la tierra determinan qué renta se obtenga, es decir que los propietarios con tierras fértiles obtendrían rentas cada vez más altas, mientras que los propietarios de peor calidad ganarían sólo lo justo para cubrir los costos, sin lugar a la renta. (Teubal, 2006). El enfoque Ricardiano fue aplicado por primera vez para evaluar los efectos del cambio climático en 1994 por Mendelsohn, Nordhaus & Shaw con el objetivo de cuantificar el impacto del cambio climático en la agricultura norteamericana, estimando el efecto de las variables climáticas directamente en el precio o valor económico de la tierra agrícola. En ese primer análisis se evaluaron en 3.000 condados de Estados Unidos, variables como el precio de la tierra, tipo de suelo, precipitación, temperatura, entre otras, utilizando series de tiempo; donde se encontró que un aumento de temperatura reduciría la productividad de cultivos y generaría un aumento en la precipitación aumentando la producción para la agricultura de E.U, concluyendo que el calentamiento global podría tener beneficios económicos para la agricultura (Mendelsohn, Nordhaus & Shaw, 1994)

En los países ubicados en las áreas subtropicales y tropicales, en cambio, es probable que se sufran pérdidas, sin embargo dependerá de las temperaturas y las precipitaciones propias de cada región y de su capacidad de adaptación (Mendelsohn, Dinar & Sanghi 2001). Haciendo una comparación entre la sensibilidad al cambio climático de Estados Unidos y de la India, utilizando el enfoque Ricardiano, se encuentra que el calentamiento global tendrá mayores efectos negativos para el país asiático, debido a un menor desarrollo de la India respecto de Estados Unidos, entendiéndose que los productores agrícolas en países subdesarrollados son más sensibles a los cambios climáticos

que los productores de países desarrollados. En 2007, Mendelsohn & Seo, muestran que para Estados Unidos, un incremento del 10% en la temperatura causaría una pérdida del 0,16% en el ingreso por habitante rural, mientras que para Brasil la pérdida sería del 5,5%. También encuentran que ante un incremento del 10% en la temperatura se reduciría en 13% el valor de la tierra en Estados Unidos y en 33% en Brasil, evidenciando que el cambio climático podría llegar a ser un determinante de pobreza en el futuro.

Este enfoque ha sido ampliamente usado en diferentes países, dentro de los que se destacan, Canadá (Reinsborough, 2003; y Weber & Hauer, 2003), India (Dinar *et al.*, 1998; y Kumar & Parikh, 2001), y África (Seo & Mendelsohn, 2008a). Al igual que en Latinoamérica en países como Argentina (Lozanoff & Cap, 2008), en Chile (González & Velasco, 2008), Perú (Torres, 2010.). En Centro América la CEPAL ha implementado esta metodología en Costa Rica (Ordaz, Ramírez & Mora, 2009a), Panamá (Mora, Ramírez & Ordaz, 2010a.), Belice (Ordaz & Mora, 2010b), y Salvador (Ordaz, Ramirez & Mora, 2009b), entre otros. Finalmente, se destaca un estudio de Seo, Niggol & Mendelsohn (2008c), donde se desarrolla una evaluación general en países suramericanos que incluye a Argentina, Brasil, Chile, Colombia, Ecuador, Uruguay, y Venezuela.

Bajo este modelo se asume que el ingreso neto anual de los productores va a responder a su búsqueda de maximizar sus ingresos y disminuir los costos, pero condicionados por factores exógenos como el mercado, precios, el suelo, el clima, y a partir de estas condiciones van a seleccionar producir lo que más les beneficie, como se muestra en la ecuación 1:

$$\pi = \sum Q_i P Q_i (X_i, L_i, K_i, IRI, C, W, S) - \sum X_i P_x - \sum P_L L_i - \sum P_K K_i - \sum P_{IRI} IRI + \varepsilon_i \quad (1)$$

Siendo  $\pi$  ingreso neto anual, **PQI**: precio de mercado de cultivo (o ganado), **Qi** función de producción de cultivo  $i$ , **X<sub>i</sub>**: vector de entradas anuales, tales como semillas, fertilizantes y plaguicidas para cada cultivo  $i$ , **Li** es un vector del trabajo (contratados y de los hogares) para cada cultivo  $i$ , **K<sub>i</sub>**: vector de capital, como tractores y equipos de recolección para cada cultivo  $i$ , **C** es un vector de variables climáticas, **IR<sub>i</sub>**: vector de opciones de riego para cada cultivo  $i$ , **C**: vector de variables climáticas, **W**: agua disponible para riego, **S**: vector de las características del suelo, **Px**: vector de precios de los aportes anuales, **PL**: vector de precios para cada tipo de trabajo, **PK**: precio de alquiler del capital, **PIR** es el costo anual de cada tipo de sistema de riego y  $\epsilon_i$  es el término del error.

El productor va a seleccionar factores endógenos como semillas, riego, mano de obra entre otras en búsqueda de maximizar sus ingresos, pero los ingresos netos van a estar condicionados por las variables exógenas (Mendelsonh & Seo 2007) como el clima, el precio del producto en el mercado, el agua disponible, entre otras. Por medio de regresiones se establece la relación entre el valor del suelo vs el clima y variables socioeconómicas, y a partir de esta ecuación se pueden conocer los efectos del cambio climático sobre el valor de la tierra para diferentes escenarios de temperatura (Co: temperatura correspondiente a un periodo inicial a Ci: temperatura correspondiente a un periodo final), teniendo la ecuación 2:

$$Vsuelo = Vsuelo(Ci) - Vsuelo(Co) \quad (2)$$

Es así que el enfoque Ricardiano permite estimar el impacto directo del cambio climático con un elevado grado de desagregación y tomar en consideración otras variables muy relevantes.

## Metodología

Se identificaron las variables dependientes e independientes usadas en los diferentes estudios a nivel mundial, nacional y las variables propias de las dinámicas del sector productivo de la papa y las del municipio de Villapinzón para construir el modelo, las variables fueron elegidas de acuerdo a la disponibilidad de información (serie de tiempo de al menos 20 años). Una vez se tenía el conjunto de variables se procedió a realizar un análisis para identificar su comportamiento y su posible relación con el valor de suelo para la construcción del modelo, se partió del cumplimiento de los principios de estacionalidad y de integración de las series de tiempo, con el propósito de evitar regresiones espurias. Se realizaron pruebas de raíces unitarias en este caso la prueba Dickey-Fuller a partir del software Eviews 8 y así identificar las posibles variables con el mismo orden de integración que podrían usarse para construir el modelo. Se obtuvo un grupo inicial de variables y se planteó el modelo inicial (ver ecuación 3):

$$VT = \beta_0 + \beta_1 \cdot T + \beta_2 \cdot T^2 + \beta_3 \cdot P + \beta_4 \cdot P^2 + \beta_5 \cdot T \cdot P + \sum_j \beta_j \cdot Z_j + \epsilon \quad (3)$$

donde: VT= Valor del suelo/ha, T= Temperatura, P= Precipitación, Z= Otras variables de interés (asociadas a la producción, económicas y sociales),  $\beta_i$ = Vector variables  $\epsilon$ = Error

Como la productividad del suelo, en este caso el suelo rural, además de depender de condiciones climáticas está relacionada con el acceso a ciertos servicios y recursos naturales como el agua, vías de transporte, educación, entre otras; se determinó hacer esta evaluación en dos situaciones, la primera situación hace referencia a terrenos que cuentan con fuentes de agua o acceso a fuentes de agua, acceso a servicios públicos y al casco urbano, es decir terrenos que por medio de vías fácilmente se pueden conectar con la zona urbana. La segunda situación se centra en suelos sin fuentes de agua y con dificultad de acceso a

éstas, áreas que no cuentan con servicios públicos, tienen un difícil acceso al casco urbano. Las dos situaciones se evaluaron en razón de tener un punto de comparación entre dos situaciones

relevantes en el municipio, en respuesta a esto se tendrían dos ecuaciones, una para cada situación planteada (ver ecuaciones 4 y 5):

$$VS_{accserv} = \beta_0 + \beta_1 * T + \beta_2 * T^2 + \beta_3 * P + \beta_4 * P^2 + \beta_5 * T * P + \sum_j \beta_j * Z_j + \varepsilon \quad (4)$$

$$VS_{sinacc} = \beta_0 + \beta_1 * T + \beta_2 * T^2 + \beta_3 * P + \beta_4 * P^2 + \beta_5 * T * P + \sum_j \beta_j * Z_j + \varepsilon \quad (5)$$

*VS<sub>accserv</sub>*: Valor del suelo por hectárea para terrenos con fuentes de agua, acceso a servicios públicos y acceso al casco urbano, con las variables explicativas anteriormente mencionadas.

*VS<sub>sinacc</sub>*: Valor del suelo por hectárea para terrenos sin fuentes de agua, sin servicios públicos y difícil acceso al casco urbano, con las variables explicativas anteriormente mencionadas.

El modelo se construyó a partir de regresiones haciendo pruebas con diferentes modelos hasta identificar el que mejor explicara la variable dependiente, en este caso se utilizó la metodología de eliminación progresiva (Backward Stepwise Regression). Donde se parte del modelo de regresión con todas las variables y se van eliminando las variables, menos significativas según el contraste individual de la t (o de la F) y en este caso el modelo que mejor explico la situación fue lineal, identificando así cuales de las variables realmente estaban relacionadas con el cambio climático. Una vez establecido el modelo, este se evaluó con las pruebas de significancia parcial (prueba t), significancia global (prueba F), R, R y R corregido, luego para validar el modelo se comprobó que este cumpliera con la normalidad de los residuos (gráfica residuales), no presente auto correlación (para evaluar el segundo supuesto se utilizó la prueba Durbin Watson) y que los residuos se comporten de forma estacionaria, para este último se aplicó la prueba de raíz unitaria para identificar la estacionalidad y así la establecer la validez del

modelo, evitando regresiones espurias y problemas de multicolinealidad (Engle & White. 2002).

Una vez construidos los modelos de la relación entre el valor del suelo vs el clima y variables socioeconómicas, se establecen los escenarios de cambio climático a partir de la ecuación 2. Las variables climáticas se tomaron de los escenarios de cambios climáticos proyectados para Colombia, proporcionados por el IDEAM (2013), en los periodos 2011 a 2040, 2041 a 2070, 2071 a 2100 para diferentes condiciones. En el caso de la predicción de las variables socio económicas, primero se asumió un comportamiento constante, partiendo de que en este caso lo que se buscaba evaluar era principalmente la incidencia de cambio en la temperatura, es decir que estas variables se fijaron y se predijeron sus valores con el software SPSS versión 7, a partir de los valores medios que se tenían, es decir que se construyeron proyecciones hasta el 2100 (periodo hasta el que ha hecho proyecciones el IDEAM de aumentos de temperatura) y se procedió a calcular el valor del suelo hasta 2100

## Resultados

A partir del análisis de raíz unitaria efectuado con el software Eviews versión 8 y la prueba Dickey-Fuller a cada una de las variables, se identificaron cuáles de estas eran estacionarias para un orden de integración de 0 y cuáles para un orden

de integración 1, en este caso se seleccionaron las de orden 1 debido a que era el orden correspondiente para la variable dependiente, seleccionándose el valor del suelo con acceso a fuentes de agua, servicios públicos y al casco urbano (VSUELACC), valor del suelo sin acceso a fuentes de agua, servicios públicos y al casco urbano (VSUELSINACC), costo de producción por hectárea para papa (COSTOPRODUCCION), temperatura máxima estación seca (TMAXESTSEC), temperatura mínima estación seca (TMINESTSEC), precipitación máxima anual (PRECMAXANUAL), precipitación mínima estación seca (PRECMINESTSEC), rendimiento (RENDI)

Se realizaron los análisis de regresión múltiple y la primera situación (valor del suelo por hectárea para terrenos con fuentes de agua, acceso a servicios públicos y al casco urbano) se obtuvo la ecuación 6:

$$\text{VSUELACC} = -4695827.91822 + 0.601305471015 * \text{COSTOPRODUCCION} - 532368.471199 * \text{TMAXESTSEC} + 1001397.21549 * \text{TMINESTSEC} \quad (6)$$

Con un R-cuadrado de 0.952510, R-cuadrado ajustado 0.947030, y Prob (F-estadístico) 0.000000. En la validación del modelo se obtuvo que las variables no están correlacionadas (Durbin Watson 1,4) y que los residuales se comportan de forma estacionaria (Dickey-Fuller -3.973120).

Este modelo muestra cómo estas tres variables son las que explican el valor del suelo en el municipio de Villapinzón. Esto se deduce a partir de sus niveles de significancia, COSTOPRODUCCION (0.0000), TMAXESTSEC (0.0487), TMINESTSEC (0.0027) corroborados a partir de la prueba t (significación estadística de cada variable) y con una significancia global de la regresión de 0,00 determinada a partir de la prueba F (significación estadística global), en este caso es menor a 0,025 sugiriendo que gran parte de la variabilidad de la respuesta está explicada por el modelo

obtenido. El coeficiente de determinación de 0,95, mide la proporción de variabilidad total de la variable dependiente respecto a su media que es explicada por el modelo de regresión, en este caso se acerca al 95% la bondad de ajuste del modelo; es decir, que en este caso el modelo es capaz de explicar el 95% de la variación del valor del suelo.

Revisando las variables climáticas el modelo indica que los periodos secos son los que más van a afectar la productividad del suelo, en este caso aumentos en las temperaturas máximas en las estaciones secas van a afectar negativamente el valor del suelo, asociado a que el cultivo a mayores temperaturas en este periodo va a ser más susceptible y va a implicar pérdidas en la producción y por ende en el valor del suelo. Y está por último otra variable climática que va a influir de forma importante en el valor del suelo, es la temperatura mínima en la estación seca, en este caso aumentos en esta variable van a influir positivamente en el valor del suelo debido a que muy bajas temperaturas pueden afectar la productividad generando heladas o influyendo en el desarrollo del cultivo, obteniendo la ecuación 7:

$$\text{VSUELSINACC} = -2988807.90602 + 0.354694702378 * \text{COSTOPRODUCCION} - 361621.838628 * \text{TMAXESTSEC} + 661206.103956 * \text{TMINESTSEC} \quad (7)$$

Con un R-cuadrado de 0.946564, R-cuadrado ajustado de 0.940398 y Prob (F-estadístico) de 0.000000. Se validó el modelo obteniendo que las variables no están correlacionadas (Durbin Watson 1,36) y que los residuales se comportan de forma estacionaria (Dickey-Fuller -3.898385).

De igual forma que en la ecuación anterior (6) las tres variables que explican el valor del suelo en el municipio de Villapinzón para terrenos sin fuentes de agua, sin servicios públicos y de difícil acceso al casco urbano son el costo de producción por hectárea, las temperaturas mínima y máxima en estación seca con significancias parciales de

COSTOPRODUCCION (0.0000), TMAXESTSEC (0.0342) y TMINESTSEC (0.0342), de igual forma corroborados a partir de la prueba t (significación estadística de cada variable) y con una significancia global de la regresión de 0,00 determinada a partir de la prueba F (significación estadística global), también en este menor a 0,025 sugiriendo que gran parte de la variabilidad de la respuesta está explicada por el modelo ajustado. El modelo muestra al igual que en el caso anterior cómo aumentos tanto en la temperatura máxima en estación seca como en las temperaturas mínimas en la estación seca van a afectar negativamente el valor del suelo.

El coeficiente de determinación de 0,946, similar al modelo anterior, una bondad de ajuste cercana al 95%, es decir que el modelo es capaz de explicar el 95 de la variación del valor del suelo. Las variables tienen el mismo comportamiento del modelo anterior, siendo las temperaturas máximas y mínimas en estación seca las que más inciden sobre el valor del suelo junto al costo de producción. En este caso cabe resaltar que a diferencia

de otros estudios, explica en un alto porcentaje el valor del suelo (el estudio de González & Velasco (2008) obtuvo un  $R^2$  de 38%).

Una vez establecidos los modelos que explican el cambio climático a partir de la variación del suelo se procede a establecer los escenarios para los periodos 2011 a 2040, 2041 a 2070, 2071 a 2100. La construcción de los escenarios inicia con la predicción de los valores futuros que toman las variables no climáticas. Se predicen los valores esperados para los costos de producción por hectárea y para el caso de las variables climáticas a partir del modelo se trabaja sólo los aumentos de temperatura esperados en Colombia, información proporcionada por el IDEAM, construida a partir de modelos regionales como PRECIS (Providing Regional Climates for Impacts Studies) de Reino Unido y GSM (Global Spectral Model) del Japón. A partir de estos escenarios y de los modelos estimados se obtuvo el valor del suelo por hectárea para las dos situaciones establecidas y en los tres momentos planteados:

**Tabla 1.** Escenarios de cambio de valor del suelo para Villapinzón a partir del enfoque Ricardiano (°C) para terrenos con fuentes de agua, acceso a servicios públicos y al casco urbano.

Escenario	2011 a 2040	2041 a 2070	2071 a 2100
Más probable	8631509,312 - 18804177,59	19623988 - 29796656,29	30616466,7 - 40789134,98
A2	9100538,056 - 19273206,34	20093016,75 - 30265685,03	30616466,7 - 41258163,72
B2	9100538,056 - 19273206,34	20093016,75 - 30265685,03	30616466,7 - 40789134,98
A1B(S)	8162480,568 - 18804177,59	19623988 - 29796656,29	30616466,7 - 40789134,98

Nota: Valor del suelo por hectárea en pesos

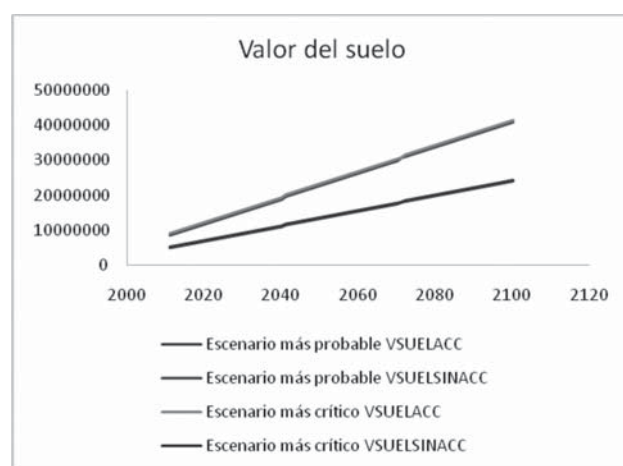


**Tabla 2.** Escenarios de cambio de valor del suelo para Villapinzón a partir del enfoque Ricardiano (°C) para terrenos sin fuentes de agua, sin servicios públicos y difícil acceso al casco urbano

Escenario	2011 – 2040	2041 – 2070	2071 - 2100
Más probable	5080838,003 - 11081434,58	11587935,97 - 17588532,54	18095033,93 - 24095630,5
A2	5380422,268 - 11381018,84	11887520,23 - 17888116,8	18095033,93 - 24395214,77
B2	5380422,268 - 11381018,84	11887520,23 - 17888116,8	18095033,93 - 24095630,5
A1B(S)	4781253,738 - 11081434,58	11587935,97 - 17588532,54	18095033,93 - 24095630,5

Nota: valores del suelo por hectárea en pesos

Comparando los resultados anteriores para el escenario más probable entre las dos situaciones planteadas se podrían llegar a tener diferencias de hasta de 16693504,5 millones de pesos al 2100 en qué se sobrepasa el valor de los suelos con acceso a fuentes de agua, a servicios públicos y a cascos urbanos, y para el escenario más crítico, es decir, para aumentos de temperatura de 4 grados la diferencia podría llegar a ser de 16862948,95 pesos. Los resultados para el escenario más probable y más crítico para las dos situaciones se pueden observar en la Figura 1.



**Figura 1.** Escenario más probable y más crítico de cambio de valor del suelo para el municipio de Villapinzón para las dos situaciones evaluadas:

Como se evidencia en la Figura 1, el valor del suelo en el caso de acceso a fuentes de agua, a servicios públicos y al casco urbano aumenta con una tasa de crecimiento mayor a los suelos sin acceso a estos servicios, indicando que el acceso a fuentes de agua, servicios públicos y al casco urbano son relevantes frente a cambios de clima, y deberían ser involucradas en estrategias de adaptación para el municipio.

Como se encontró en otros estudios (Mendelsohn, Nordhaus & Shaw, 1994; 1996; Mendelsohn, Dinar & Sanghi, 2001; García & Viladrich, 2008, Ordaz, 2009a; 2010, entre otros) el cambio climático tiene efectos sobre el valor del suelo, en este caso como lo muestra la Figura 1 el valor del suelo va a estar condicionado por temperatura y otros

aspectos económicos, pero la diferente tendencia entre ambas situaciones evidencia que el acceso a servicios y a cascos urbanos son un factor determinante para enfrentar estos efectos. A partir de los escenarios construidos, se entiende que el cambio climático en el caso de la producción en el municipio de Villapinzón para los tres momentos es positivo, ya que el valor del suelo aumenta y que este valor está directamente ligado a las condiciones sociales y económicas del sitio, además de la temperatura en el periodo seco.

## Discusión y conclusiones

De los modelos obtenidos a partir del valor del suelo se puede inferir que efectivamente la temperatura en los periodos secos es un factor clave que va a influir en el valor del suelo, y además está correlacionada con el costo de producción, lo que indicaría que el valor del suelo efectivamente responde a cambios de temperatura, y no es tan dependiente a variables como la precipitación, a diferencia de otros estudios como los de Mendelsohn et al (2001), Seo & Mendelsohn. (2008a), García & Viladrich, (2008), entre otros, donde en sus resultados en el modelo Ricardiano que construyen, incluyen a la precipitación como un factor determinante de valor del suelo.

Aunque la precipitación no resultó ser una variable explicativa, al hacer la comparación entre las dos situaciones, el riego hace parte de las estrategias de adaptación y es un factor determinante ante el cambio climático, debido a que los terrenos sin riego son más sensibles como demostraron Seo y Mendelsohn (2008a), con una muestra de más de 2.000 observaciones en granjas de América del Sur donde encontraron que productores sin riego son más sensibles a cambios climáticos a diferencia de los que cuentan con riego. Y aunque el presente estudio también se desarrolló en América del Sur, demuestra que los efectos de cambio climático van a reflejar cambios en respuesta a condiciones locales. Además el modelo evidencia que en el municipio de Villapinzón en las épocas secas es donde más susceptible es la producción al cambio climático.

Es importante resaltar que el valor del suelo no va a estar condicionado sólo por cambios de temperatura, también va a estar asociado a otros aspectos como costos de producción, los cuales implican fertilizantes, riego, manejo sanitario, entre otros; que están asociados directamente a desarrollos y avances en el manejo de cultivo, y cabe también resaltar que el rendimiento es otra de las variables que condiciona el valor del suelo y ésta se relaciona directamente, con el manejo del cultivo.

Las variables obtenidas que describen el valor del suelo, coinciden con otros estudios como los de la CEPAL (Ordaz, Ramirez & Mora, 2009<sub>a</sub>) donde la temperatura es determinante; aunque a diferencia de la mayoría de estudios, los modelos definitivos incluían la temperatura asociada a las estaciones, en este caso sólo fueron las temperaturas en estaciones secas, asociado a que aunque se presentan entre estaciones diferencias de temperatura entre 0 y 5 °C, son críticos principalmente en los periodos secos.

Al comparar las ecuaciones correspondientes a las dos situaciones planteadas, se puede concluir que son igualmente susceptibles a cambios de temperatura en periodos secos, ya que son las variables que más pesan en las dos ecuaciones, pero los efectos son mayores en suelos sin acceso a fuentes de agua y servicios públicos debido a que el aumento en el valor del suelo va a ser menor, indicado que el acceso a servicios públicos y a cascos urbanos será un factor determinante para actuar ante efectos de cambio de clima, lo que coincide con estudios de la CEPAL donde encontraron que el acceso a servicios como luz, transporte, agua, facilitan la capacidad de adaptación al cambio climático

El enfoque Ricardiano evalúa los efectos del cambio climático a partir de variables climáticas económicas, sociales, y permite involucrar las adaptaciones por parte de los productores para saber cómo podrían responder los agricultores a futuros cambios en la búsqueda de rentabilidad, lo que lo convierte en una herramienta con base en la cual se pueden tomar medidas y estrategias de adaptación que permitan reducir la vulnerabilidad del sector agrícola, dado que efectivamente cambios de clima generan cambios importantes en la agricultura.

A partir de este trabajo se concluye que el cambio climático puede tener efectos sobre la producción de papa en el municipio de Villapinzón, y en sus actividades económicas en el corto plazo; en este caso aumentos hasta de 4 °C de tempera-

tura pueden generar efectos positivos en el valor del suelo, indicando así aumentos de producción; demostrando que efectivamente el sector agropecuario es sensible a cambios de clima y aún más sensible la situación al no tener acceso a servicios públicos y a cascos urbanos.

El enfoque Ricardiano explica, con un nivel satisfactorio ( $R^2 = 95\%$ ), la variación del valor del suelo en respuesta a cambios de clima y a costos de producción. En este caso se evidencia cómo la temperatura en los periodos secos es la variable que más afecta el valor del suelo y además muestra en este caso, que la variable precipitación no está relacionada con el valor del suelo, asociado a que en el municipio de Villapinzón a nivel rural no hay déficit de agua, debido a que los agricultores planean su producción de acuerdo a las épocas de lluvia, indicando que en este caso el riego no es una estrategia determinante para contrarrestar los efectos de cambio climático.

A partir de los dos escenarios evaluados, se puede concluir que garantizar a la población el acceso a servicios públicos, como agua, luz y servicios básicos, puede ser una estrategia determinante para mitigar los efectos de cambio climático; ya que a partir de las ecuaciones obtenidas en los casos en los que se cuenta con acceso a estos servicios el valor del suelo se incrementa en mayor proporción, reflejando que hay mayor producción de papa, y demostrando que los suelos sin acceso a fuentes de agua para riego, a servicios públicos y al casco urbano pueden ser más vulnerables al cambio climático que los suelos en las condiciones opuestas, ya que el precio de la tierra aumenta a una tasa mayor en esta segunda situación, siendo entonces un reto para el municipio generar estrategias o alternativas que garanticen el acceso de la población a estos servicios y garantizar, una mejora en la tecnologías empleadas y un fácil acceso a insumos y a capacitaciones que les brinden estrategias de adaptación a los productores.

## Literatura citada

1. Consejo Nacional de Política Económica y Social- República de Colombia. (2003). Documento Conpes 3242. Estrategia Institucional para la Venta de Servicios Ambientales de Mitigación Del Cambio Climático. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – MAVDT Departamento Nacional de Planeación – DPA. Recuperado de: <http://www.ideab-ufps.com/nodo/doc/DOCUMENTOS%20CONPES%203242.pdf>
2. Departamento Administrativo Nacional de Estadística, DANE (2001). Censo nacional de la papa. Bogotá. Recuperado de: [http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/ena/papa\\_censo\\_cundinamarca.pdf](http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/ena/papa_censo_cundinamarca.pdf)
3. Dinar, A., R. Mendelsohn, R. Evenson, J. Parikh, A. Sanghi, K. Kumar, J. McKinsey & S. Lonergan (eds.). (1998). Measuring the Impact of Climate Change on Indian Agriculture, World Bank Technical Paper No. 402, Washington, D.C.
4. Engle R. & White, H. (2002). Cointegration, Causality, and Forecasting: A Festschrift in Honour of Clive W. J. Granger. *Volume 112*, Issue 480, pages F370–F371, June 2002.
5. Federación colombiana de productores de papa. (2010). Acuerdo de Competitividad de la cadena agroalimentaria de la papa en Colombia. Bogotá. Recuperado de: <http://www.fedepapa.com/wp-content/uploads/pdf/ACUERDO-COMPETITIVIDAD-CADENA-AGROALIMENTARIA-PAPA.pdf>
6. García, M. & Viladrich M. (2008). Las consecuencias del cambio climático en la agricultura de castilla-la mancha según el enfoque ricardiano. *Clim. economía. Num. 13*, pp. 181-204.
7. González, J. & Velasco, R. (2008). Evaluation of the impact of climatic change on the economic value of land in agricultural systems in Chile. *Chilean journal of Agricultural Research 68(1)*:56-68 (January-March). Chile.
8. IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología Y Estudios Ambientales. (2013). Escenarios de cambio climático. Recuperado de: <http://institucional.ideam.gov.co/jsp/2590>
9. IPCC. (2001). Impacts, adaptation, and vulnerability. p. 1032. In McCarthy, J., O. Canziani, N. Leary, D. Dokken, and K. White (eds.) *Climate change 2001. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
10. IPCC. (2007): Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 págs.
11. IPCC. (2013). primera entrega del 5º informe de evaluación del Panel Intergubernamental de Naciones Unidas para Cambio Climático (IPCC).

12. Kumar, K. & Parikh, J. (2001): "Indian agriculture and climate sensitivity", *Global environmental change*, 11, pp. 147-154
13. Lozanoff, J. & Cap, E. (2008). El Impacto Del Cambio Climático Sobre La Agricultura Argentina: Un Estudio económico Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria - Instituto de Economía y Sociología
14. Martínez, C., Espinal, C., Covalada, H., Pinzón, N. & Barrios, C. 2005. La cadena de la papa en Colombia una mirada global de su estructura y dinámica 1991-2005. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Observatorio Agrocadenas Colombia. Documento de Trabajo No. 54.
15. Mendelsohn, R., W. Nordhaus & D. Shaw. (1994). Measuring the Impact of Global Warming on Agriculture, *American Economic Review* 84 753-771.
16. Mendelsohn, R., W. Nordhaus, & D. Shaw. (1996). "Climate Impacts on Aggregate Farm Values: Accounting for Adaptation" *Agriculture and Forest Meteorology* 80: 55-67.
17. Mendelsohn, R., A. Dinar & A. Sanghi. (2001). "The Effect of Development on the Climate Sensitivity of Agriculture", *Environment and Development Economics* 85-101.
18. Mendelsohn R. & S.N. Seo. (2007). An integrated farm model of crops and livestock: Modeling Latin American agricultural impacts and adaptations to climate change. World Bank Policy Research Series Working Paper 4161. 41 p. World Bank, Washington DC., USA.
19. Ministerio de ambiente vivienda y desarrollo territorial y Federación colombiana de productores de papa. (2004). Guía ambiental para el cultivo de la papa. Bogotá. Recuperado de: <http://www.minambiente.gov.co/documentos/papa.pdf>
20. Mora, J., Ramírez, D. & Ordaz, J. (2010<sup>a</sup>). Panamá: efectos del cambio climático sobre la agricultura. Panamá. Comisión económica para América Latina y el Caribe.
21. Organización de las Naciones Unidas. 1998. Protocolo de Kyoto de La Convención Marco De Las Naciones Unidas Sobre El Cambio Climático. Recuperado de: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>
22. Organización de las Naciones Unidas. 2009. XV Conferencia Internacional sobre el Cambio Climático. Convención Marco sobre el Cambio Climático-Copenhague-Dinamarca Recuperado de: <http://unfccc.int/resource/docs/2009/cop15/spa/11a01s.pdf>.
23. Ordaz, J., Ramírez, D, & Mora, J. (2009<sup>a</sup>). Costa Rica: Efectos Del Cambio Climático Sobre La Agricultura. Segunda versión. Naciones Unidas Comisión Económica Para América Latina Y El Caribe – CEPAL.
24. Ordaz, J. Ramírez, D, & Mora, J. (2009b). El Salvador: efectos del cambio climático sobre la agricultura. Naciones Unidas Comisión Económica Para América Latina Y El Caribe – CEPAL. Tercera versión.
25. Ordaz, J. & Mora, J. (2010). Belice: Efectos del cambio climático sobre la agricultura. CEPAL, CCAD, DFID. México.
26. Reinsborough, M.J. (2003): "A Ricardian model of climate change in Canada.", *Canadian Journal of Economics*, 36(1), pp. 21-40.
27. Seo, S.N., & R. Mendelsohn. (2008a). Climate change impacts and adaptations on animal husbandry in Africa. *African Journal of Agricultural and Resource Economics* (in press).
28. Seo, S.N. and R. Mendelsohn. (2008b). Measuring impacts and adaptations to climate change: A structural Ricardian model of livestock management in Africa. *Agr. Econ.* 38:1-15.
29. Seo, S. Niggol & Mendelsohn, Robert (2008c). A Ricardian Analysis Of The Impact Of Climate Change On South American Farms. *Chilean J. Agric. Res.* [online]. 2008, vol.68, n.1, pp. 69-79
30. Teubal, M. (2006). La renta de la tierra en la economía política clásica: David Ricardo. *Revista Nera, Año 9, N. 8.*
31. Torres, L. (2010). Análisis económico del cambio climático en la agricultura de la región piura responsable Piura- Perú. caso: principales productos agroexportables. CIES. Piura.
32. Weber, M. & Hauer, G. (2003): "A regional analysis of climate change impacts on Canadian agriculture.", *Canadian Public Policy*, 29(2), pp. 163-180.