

IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LOS RENDIMIENTOS DEL ARROZ (*ORYZA SATIVA L.*) EN LA ZONA LLANOS, COLOMBIA

IMPACTS OF CLIMATE CHANGE ON THE YIELDS OF RICE (*ORYZA SATIVA L.*) IN THE LLANOS ZONE, COLOMBIA

Otto Smith Pardo Carrillo¹

Heraldi F. Torres²

Gabriel Alfredo Torres-Rodríguez³

Juan Manuel Trujillo-González⁴

Resumen

Los efectos del cambio climático sobre sectores estratégicos de las economías locales se han convertido en una prioridad de los gobiernos, científicos y académicos en las últimas décadas. En este sentido, el objetivo del presente estudio consistió en estimar la relación de los rendimientos del arroz secano con variables de tipo climáticas y económicas. Para esto, se aplicó el método de mínimos cuadrados ordinarios, utilizando una base de datos correspondiente al periodo 1990 a 2016 de la zona productora de arroz denominada Llanos en Colombia. Entre los resultados se destaca que la temperatura máxima tiene efectos significativos, mientras que déficits o exceso de las precipitaciones tienen un impacto negativo en el rendimiento del arroz. Asimismo, labores culturales como la preparación del terreno presenta efectos adversos sobre el rendimiento del arroz, mientras que el uso de fertilizantes los afecta positivamente. Finalmente, se concluye que los impactos del cambio climático sobre los rendimientos de la producción dependerán de la magnitud del cambio de las variables climáticas, así como las estrategias de adaptación que conduzcan al desarrollo de buenas prácticas agrícolas y uso eficiente de los recursos.

Palabras clave: Análisis económico, Análisis de series de tiempo, Cambio climático, Clima ecuatorial, Llanos Orientales de Colombia, Producción regional, Producción de arroz.

Fecha de recepción: Noviembre de 2019 / Fecha de aceptación en forma revisada: Junio de 2020

¹Magíster en Economía (Universidad de Manizales). Economista (Universidad de los Llanos). Docente investigador de la Fundación Universitaria Panamericana. Correo electrónico: osmithpardo@unipanamericana.edu.co <https://orcid.org/0000-0001-8759-0661>

² Economista (Universidad de los Llanos). Instituto de Ciencias Ambientales de la Orinoquia Colombiana – ICAOC (Universidad de los Llanos). Correo electrónico: hftorres@unillanos.edu.co <https://orcid.org/0000-0001-8751-0190>

³ Economista (Universidad de los Llanos). Consultor Centro de Estudios de Desarrollo de la Orinoquia – CEDRO (Villavicencio) y docente cátedra de la Universidad de los Llanos. Correo electrónico: gatorres@unillanos.edu.co <https://orcid.org/0000-0001-6228-5230>

⁴ Grupo de Investigación en Gestión Ambiental Sostenible GIGAS. Instituto de Ciencias Ambientales de la Orinoquia Colombiana ICAOC, Facultad de Ciencias Básicas e Ingenierías, Universidad de los Llanos, Campus Barcelona Villavicencio, Colombia. Villavicencio, Colombia. Correo electrónico: jtrujillo@unillanos.edu.co <https://orcid.org/0000-0001-9612-4080>

Abstract

The effects of climate change on strategic sectors of local economies have become a priority for governments, scientists and academics in recent decades. In this sense, the objective of the present study was to estimate the relationship of dryland rice yields with climatic and economic variables. For this, the ordinary least squares method was applied, using a database corresponding to the period 1990 to 2016 of the rice producing area called Llanos in Colombia. Among the results it is highlighted that the maximum temperature has significant effects, while deficits or excess rainfall have a negative impact on rice yield. Likewise, cultural tasks such as preparing the land have adverse effects on rice yield, while the use of fertilizers positively affects them. Finally, it is concluded that the impacts of climate change on production yields will depend on the magnitude of the change in climate variables, as well as adaptation strategies that lead to the development of good agricultural practices and efficient use of resources.

Key words: Economic analysis, Time series analysis, Climate change, Equatorial climate, Eastern Plains of Colombia, Regional production, Rice production.

Introducción

El clima de la tierra está cambiando, y se prevé que el calentamiento global conduzca a incrementos en la temperatura media global de 2 a 4 °C para finales de siglo (Meehl et al., 2007). Considerar los efectos que el cambio climático puede generar sobre los diversos sectores estratégicos de las economías locales y las estrategias de adaptación se han convertido en una prioridad de los gobiernos, científicos y académicos en las últimas décadas (Adams, 1989; Schlenker et al., 2006; Nordhaus, 2007; Lichtenberg et al., 2010; Canal-Daza & Andrade-Castañeda, 2019). De acuerdo a lo anterior, múltiples estudios evidencian que cambios en las condiciones climáticas, alteraciones en la temperatura, regímenes de precipitación y en los niveles de CO₂ en la atmósfera, provocan afectaciones en la producción agrícola (Rosenzweig & Parry, 1994; Barnabás et al., 2008; Kontgis, et al., 2019), al uso de los recursos y los rendimientos (en la asignación eficiente de los factores de producción), así como al comercio y los precios (Kaiser & Crosson, 1995), poniendo en riesgo el nivel de ingreso de las personas y la seguridad alimentaria (Schmidhuber & Tubiello, 2007; Wheeler & Kay, 2010; Lobell & Burke, 2010; IPCC, 2014).

El arroz se constituye como el principal alimento a nivel global, cuya producción es vital para la seguridad alimentaria y la economía mundial (Maclean et al., 2002; Parry et al., 2005; Nelson et al., 2010; Maraseni et al., 2018), por ello múltiples estudios han evaluado los efectos del cambio climático sobre el cultivo de arroz (*Oryza sativa*). Estudios anteriores evidencian que incrementos en la temperatura máxima y mínima promedio, y alteraciones en los regímenes de precipitación (sequías e inundaciones) asociados al cambio climático, generan impactos negativos sobre los rendimientos del arroz a escala global (Peng et al., 2004; Lobell & Field, 2007; Chen, McCarl y Chang, 2011; Vargas-Pineda et al., 2017). Aunque algunos sugieren que los efectos de fertilización del aumento de los niveles de CO₂ sobre el desarrollo del grano podrían compensar la pérdida de rendimientos, por aumentos en la temperatura en algunas regiones (Kimball, 1983; Cure & Acock, 1986; Lin et al., 2005), también se debe considerar que aumentos en los niveles de CO₂ afectarían la calidad nutricional del arroz (Goufo et al., 2014; Jing et al., 2016). A los estudios anteriores se adhieren los realizados en África (Van & Zwart, 2018), China (Yao et al., 2017), Malasia

(Vaghefi et al., 2011), Vietnam (Kontgis, et al., 2019), sin embargo, otros datos demostraron que la disminución de rendimientos en el arroz tendrá un efecto mayor en las bajas latitudes en comparación con las medias y altas, en cuanto a que poseen mayor temperatura, y a medida que esta aumenta también el estrés por calor sobre el arroz (Rosenzweig & Parry, 1994).

Si bien los resultados evidencian impactos negativos de las tendencias climáticas sobre los rendimientos de los cultivos, también permiten determinar que los avances tecnológicos (mejora de semillas), los efectos de fertilización del aumento de los niveles de CO₂, y otros factores no climáticos; como las medidas de adaptación tomadas por los agricultores (uso eficiente de los recursos, preparación del terreno, etc.), compensan en cierta medida el impacto del calentamiento sobre dichos cultivos (Lobell & Field, 2007; Van & Zwart, 2018).

En el caso colombiano se estiman aumentos en la temperatura media del aire de 1.4°C para el periodo comprendido entre los años 2011-2040, 2.4°C para 2041-2070 y para el lapso 2071 a 2100 3.2°C. Entre tanto, la precipitación promedio se reduciría un 15% para el periodo 2011-2070, mientras que para finales de siglo (2071-2100) se proyectan reducciones del 36%, con respecto al periodo de referencia 1971-2000 (Ruiz, 2010). Con relación a esto, según Departamento Nacional de Planeación (DNP), se estima una reducción en promedio de los rendimientos de los cultivos de maíz tecnificado, papa y arroz irrigado del 7,4% entre el periodo 2010-2100 (DNP-BID, 2014).

En este sentido, teniendo en cuenta que en Colombia se produjo 5.7 millones de toneladas de arroz en el año 2016; 2,9 millones de toneladas más que en el año 2008, y que a pesar del incremento del área cultivada de 493.237 a 570.802 hectáreas entre estos años, los rendimientos para el año 2016 fueron mucho menor; pasando de 6,4 t/ha en 2008 a 5,7 t/ha., se hace necesario conocer el impacto del cambio climático sobre los rendimientos de este cultivo, y más en la Zona Llanos Orientales, la cual participó con el 45,8% de la producción nacional para el año 2016, y presentó después de la zona del Bajo Cauca los menores rendimientos del país; 4.95 t/ha (FEDEARROZ, 2008; FEDEARROZ, 2017). Por esta razón, el objetivo de este estudio consiste en estimar la relación entre los rendimientos del arroz seco y variables de tipo climáticas y económicas utilizando datos de series temporales agregadas en el periodo 1990 a 2016 en la zona llanos de Colombia.

Materiales y Métodos

Área de Estudio

La Federación Nacional de Arroz (FEDEARROZ) define para el territorio nacional cinco zonas arroceras, como la zona Centro, zona Llanos Orientales, zona Bajo Cauca, zona Costa Norte y Santanderes, en las cuales agrupa los departamentos de Colombia que presentan condiciones económicas y agronómicas similares. Este estudio se centra específicamente en la zona Llanos Orientales, la cual agrupa los departamentos de Meta, Casanare, Arauca, Guaviare, Vichada y el municipio de Paratebueno del departamento de Cundinamarca. Según el IV Censo Nacional Arrocerero (FEDEARROZ, 2017), en la zona se encuentra el 45.3% del área sembrada en arroz mecanizado en Colombia, y se posiciona como la zona arrocerera más grande del país y la mayor productora. El 78% de la producción de arroz en esta zona se realiza bajo el sistema seco mecanizado, y la siembra se efectúa principalmente en las épocas de lluvias, por tanto, la producción se concentra en los meses de abril a octubre de manera escalonada, iniciando en el departamento del Meta y culminando en el departamento de Arauca, mientras que bajo el sistema de riego en su mayoría se efectúa para el segundo semestre del año. A pesar que las condiciones agroecológicas de la Zona

Llanos permiten establecer que poseen suelos poco favorables para este cultivo, los agricultores a través de preparación del terreno han realizado los correctivos y adecuaciones para poder desarrollar esta actividad (FEDEARROZ, 2011).

Búsqueda y recopilación de información.

Para el análisis de este estudio se utilizaron dos conjuntos de datos, los proporcionados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), y por la Federación Nacional de Arroz (FEDEARROZ). Los datos del IDEAM están disponibles desde 1972 hasta 2016, mientras que los de FEDEARROZ están disponible desde 1980 hasta 2018. Para la estimación del modelo se usaron los datos climáticos y de rendimientos de los últimos años (1990–2016). Las variables climáticas (Temperatura máxima y precipitaciones) fueron extraídas del IDEAM y las variables económicas como el gasto en preparación del terreno y uso de fertilizantes fueron proporcionadas por la Federación Nacional de Arroceros (FEDEARROZ).

Evaluación del impacto

El desarrollo del método de mínimos cuadrados ordinarios (MCO) se le atribuye al alemán Carl Friedrich Gauss, en donde comprobó su eficiencia en la predicción del asteroide Ceres (Lemagne & Calzadilla 2012). Los mínimos cuadrados ordinarios permiten minimizar los errores entre la función de regresión poblacional (FRP) con respecto a la función de regresión muestral (FRM) (Gujarati & Porter, 2010) [Eq. 1].

$$Y_i = \beta_1 + \beta_2 X_i + u_i \quad [1]$$

La FRM representa la estimación de los parámetros del modelo y los residuos, dando una aproximación a la FRP [Eq. 2].

$$Y_i = \hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_2 X_i + \hat{u}_i \quad [2]$$

En relación a lo anterior, Y_i se puede representar como la estimación de la variable independiente más el término de error [Eq. 3].

$$Y_i = \hat{Y}_i + \hat{u}_i \quad [3]$$

Las perturbaciones son la diferencia entre la FRP y FRM, dado que el método de MCO intenta minimizar el error, aunque es imposible lograrlo con la sumatoria de los errores ya que el resultado de esta operación siempre será cero (0) [Eq. 4].

$$\hat{u}_i = Y_i - \hat{Y}_i \quad [4]$$

Por lo anterior, es importante elevar al cuadrado los errores con el propósito de que las sumatoria de los valores absolutos que representan la diferencia de Y_i con respecto a \hat{Y}_i siempre será distinto a cero (0) [Eq. 5].

$$\sum \hat{u}_i^2 = \sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2 \quad [5]$$

En relación a lo anterior y para efectos de este trabajo se propone estimar la siguiente serie de tiempo, tal como lo propone Rashid et al., (2012), Saito et al., (2015), Khanal et al., (2018) y Nakano et al., (2018) [Eq. 6]:

$$Y_i = \beta_1 + \beta_2 Lnte_i + \beta_3 pre_i + \beta_4 Lndes_i + \beta_5 preci_i + \beta_6 fert_i + \beta_7 tiem_i + u_i \quad [6]$$

Donde, el subíndice i representa cada periodo de tiempo en donde fue capturado el dato, Y_i representa el rendimiento del cultivo de arroz elevado al cubo y su medición es en toneladas por hectáreas (t/ha), $Lnte$ es el logaritmo natural de la temperatura máxima en la región llanos, su medición está en la variación porcentual de grados celcius, pre es el costo que asumen los arroceros en preparar una hectárea de tierra, $Lndes$ es el logaritmo natural de la desviación estándar de la temperatura máxima, $preci$ es la variable precipitación, la cual es la inversa de su valor al cuadrado y representa la cantidad de lluvia en un año, $fert$ es el gasto en fertilizantes por hectárea cultivada de arroz y $tiem$ es una variable control que permite recoger los efectos del tiempo en las variables (Tabla 1).

Resultados y Discusión

Los datos utilizados en la regresión lineal permiten observar algunas estadísticas descriptivas, sin embargo, es importante tener en cuenta que las variables sufrieron transformaciones con el propósito de satisfacer los supuestos básicos de la metodología de MCO.

Tabla 1. Estadísticas descriptivas de las variables utilizadas para la modelación de arroz en la zona llanos.

VARIABLES	OBSERVACIONES	MEAN	STD. DEV	MIN	MAX
Y_i	27	85.84851	17.57775	40.00169	116.2143
$Lnte$	27	3.603219	.0311001	3.540959	3.65584
pre	27	606375.1	342781.6	85506	1095019
$Lndes$	27	.3061077	.3150817	-.3710637	.8285518
$preci$	27	1.72e-07	9.73e-08	8.68e-08	3.84e-07
$fert$	27	456008.2	284177.1	74166	1048890

Con base en lo anterior, es necesario evaluar los supuestos del modelo MCO para determinar la capacidad predictiva del mismo. En ese sentido, se parte del supuesto de normalidad de los datos donde se empleó el test de Shapiro Wilk, encontrando que las variables rendimiento y precipitación poseen problemas de normalidad, y por esta razón se trabajaron los datos (rendimiento al cubo y la inversa de precipitación al cuadrado) para lograr agruparlos de forma que no estén dispersos.

El segundo supuesto evaluado se refiere a la heterocedasticidad, para este caso se empleó el comando *robust*, el cual permite que la distribución de los errores estándar sean más robustos corrigiendo así la existencia de algún problema de dispersión de la distribución.

El tercer supuesto consiste en identificar y corregir los problemas de multicolinealidad, para ello se aplicó el test inflacionario de correlación entre las variables explicativas, y cuyo resultado debe estar por debajo de 10. Para este caso, se obtuvo como

resultado 6.43. Lo anterior, significa que el valor promedio inflacionario de la correlación de las variables explicativas no presenta problemas de multicolinealidad. Además, se realizó la matriz de correlación de variables, lo que permite validar los resultados del valor promedio inflacionario y, además, evidencia que las variables exógenas tienen un alto impacto en la variable endógena.

Tabla 2. Matriz de correlación entre las variables utilizadas para la modelación de arroz en la zona llanos.

Variables	Y_i	<i>Lnte</i>	<i>pre</i>	<i>Lndes</i>	<i>preci</i>	<i>fert</i>	<i>tiem</i>
Y_i	1.0000						
<i>Lnte</i>	0.2395	1.0000					
<i>pre</i>	-0.1259	-0.3016	1.0000				
<i>Lndes</i>	0.1070	0.9179	-0.2799	1.0000			
<i>preci</i>	-0.1413	0.3519	-0.7925	0.3149	1.0000		
<i>fert</i>	-0.0316	-0.3796	0.9382	-0.3543	-0.7648	1.0000	
<i>tiem</i>	-0.0639	-0.3053	0.9712	-0.2896	-0.7838	0.9127	1.0000

Finalmente, para este estudio, se evalúa la presencia de autocorrelación, lo cual indica que los errores no siguen un patrón, sino que se ubican de forma concéntrica. Para identificar la presencia de dicho fenómeno se aplica el test de *Durbin Watson*, cuyo resultado fue 1.97, demostrando que no existe autocorrelación, debido a que este valor es cercano a 2, es decir, está fuera de las áreas de aceptación de la hipótesis nula (Tabla 2).

Una vez se validaron los supuestos de MCO, se procede a determinar la bondad de ajuste del modelo, el cual muestra un R^2 de 64.44%, resultado que representa un buen nivel de predictibilidad de las variables explicativas con respecto a la explicada (rendimiento).

La zona Llanos Orientales como la región de mayor producción de arroz de Colombia es particularmente importante para mercado nacional, sin embargo, aunque existen picos de cosecha la producción nacional es deficitaria con respecto a la demanda; esto ha conducido en los últimos años al aumento en las importaciones de arroz. No obstante, a pesar de los esfuerzos por aumentar las áreas sembradas y adecuarlas para el desarrollo de este cultivo, los agricultores de la zona deben enfrentar los desafíos que suponen las condiciones climáticas cambiantes, que traerán consigo aumento en la temperatura y cambios en los regímenes de precipitación.

Adicional, es importante aclarar que con respecto a la variable rendimiento, en el año 2011 los llanos orientales experimentaron una disminución de 4.48 t/ha a 3.42 t/ha, producto de los efectos de la enfermedad conocida como “vaneamiento de la espiga” que afectó la calidad del grano y la productividad del cultivo para este año (ICA, 2011). Así mismo, la variable precipitación tiene un componente de agrupación entre años con exceso de lluvias y años de poca lluvia, es por esta razón que los años que se encuentran en medio de estos dos extremos tienden a ubicar los datos de esta variable en una distribución no normal.

En la zona Llanos Orientales se pudo determinar que la temperatura máxima ha impactado el rendimiento del arroz de forma positiva; por cada punto porcentual que incrementa la temperatura máxima el rendimiento del cultivo de arroz aumenta en 2 t/ha (Figura 1). Al respecto, Brouwer (1988) sustenta que un aumento en la temperatura podría resultar en escenarios favorables para el crecimiento potencial y tiempo de maduración más corto, y también por el desarrollo y uso de variedades de semillas más resistentes a las altas

temperaturas. En este sentido, Rashid et al. (2012) y Farook & Kannan (2015), evidencian que, para el caso de Bangladesh y la India, la temperatura máxima es estadísticamente significativa para los rendimientos de arroz con efectos positivos para ciertas variedades, dado que son más tolerantes a las altas temperaturas, y se aprovecha de manera adecuada el ciclo de lluvias. De igual manera, Gupta & Mishra (2019), establecen escenarios donde aumentos en la temperatura conllevan a incrementos en los rendimientos, pero éstos dependen de las variedades que se cultiven, las áreas de siembra, la degradación del suelo y la disponibilidad de agua durante el crecimiento del cultivo.

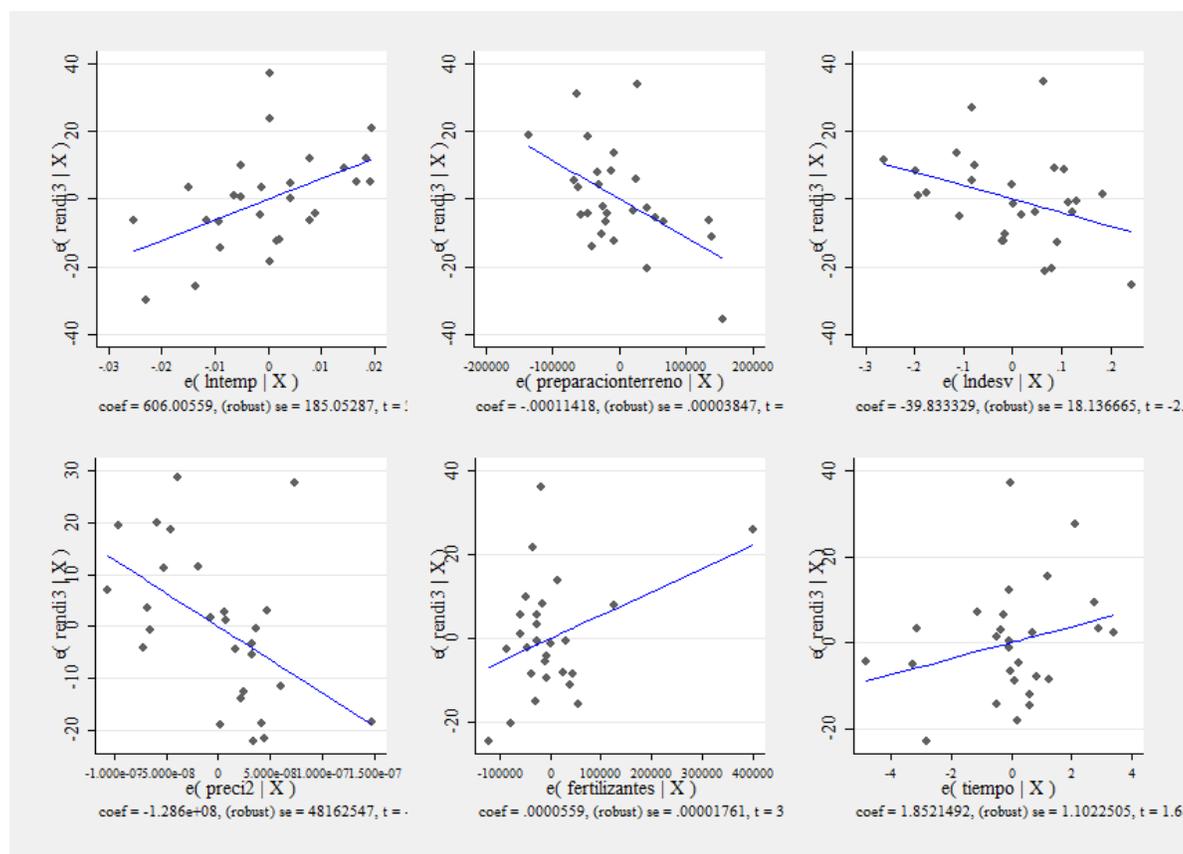


Figura 1. Estimación de los parámetros del modelo econométrico.

Por otra parte, otros estudios señalan que aumentos en la temperatura tienen un impacto negativo sobre el rendimiento del cultivo de arroz como consecuencia de medidas insuficientes de adaptación por parte de algunos agricultores (Vaghefi et al., 2011; Bocchiola, 2015; Shrestha et al., 2017). Lo anterior se explica por la falta de rotación de cultivos, distritos de riego, asistencia y transferencia de tecnología de siembra, lo cual afecta la decisión de asignar recursos de inversión para mitigar los efectos adversos de la temperatura máxima (Paul, 1998; Islam, 1988).

Además del análisis anterior, están los resultados obtenidos en esta investigación sobre la volatilidad de la temperatura máxima (desviación estándar), como una relación existente entre el exceso o déficit de las condiciones climáticas que afectan los rendimientos del cultivo de arroz, y evidencian que por variaciones de 1% en la temperatura máxima el rendimiento del cultivo de arroz disminuye en 0.73 t/ha. De esta manera, la relación empírica

encontrada es respaldada por Kang et al. (2009), Vaghefi et al. (2011) y Farook & Kannan (2015), los cuales señalan que hechos atípicos e irregulares en el cambio de la temperatura máxima provocan choques negativos en la productividad del arroz, lo cual puede generar la reproducción de plagas y enfermedades incrementando el nivel de costos del cultivo. Sin embargo, este comportamiento puede contrarrestarse por la implementación de estrategias de adaptación (buenas prácticas agrícolas) que permitan el manejo eficiente de variedades más tolerantes a la volatilidad de la temperatura, aplicación de fertilizantes más resistentes, control de malezas, plagas y enfermedades, así como la asignación óptima de los recursos hídricos suministrados por distritos de riego (Singh et al., 1996; Sheehy et al., 2006).

En cuanto a la precipitación, esta es fundamental para el desarrollo de la actividad en la zona Llanos Orientales, pues el cultivo y crecimiento del arroz se realiza durante el periodo de lluvias, mientras que no es representativa la producción de arroz bajo el sistema de riego por falta de infraestructura. Por tanto, el agua es esencial para la producción, que en promedio requiere dos o tres veces más que los demás cultivos (Maclean et al., 2013), ya que tiene mayor influencia sobre los rendimientos de arroz seco que los cambios en la temperatura (Boonwichai et al., 2018). En este sentido, los resultados obtenidos demuestran que por cada tres mil milímetros de agua que reciba el cultivo de arroz en exceso, el rendimiento disminuye en 2.42 t/ha, por tanto, se puede considerar que esta variable toma la forma cuadrática.

Tal y como se pudo establecer en este estudio, los rendimientos del arroz en esta zona están en función del déficit o exceso en los niveles de precipitación. De hecho, Farook & Kannan (2015), evidenciaron efectos inversos de la temperatura sobre los rendimientos dependiendo de la variedad, pero si efectos negativos de la precipitación en todos los casos. Por esta razón, Stuecker et al. (2018) precisa que estas relaciones entre el cultivo y clima, que difieren entre las regiones, se explican por las características del suelo; capacidades de retención de agua y contenido de humedad.

Los efectos de la variable preparación del terreno y el rendimiento de arroz en esta investigación divergen con algunos hallazgos encontrados en otros países. En este sentido, la preparación del terreno tiene un efecto negativo en el rendimiento; por cada cien mil pesos de gasto por encima del promedio el rendimiento por hectárea disminuye en 2.25 t/ha (Figura 1). Estos resultados se presentan por el exceso de actividades de preparación del suelo (utilización de maquinaria o aplicación de sistemas tradicionales de arado) durante largos periodos de tiempo, lo cual conlleva a un proceso de degradación de las características físico-químicas y biológicas de los arrozales, resultados que concuerdan con Ruiz et al. (2005), Ito et al. (2015), Dernardin et al. (2019) y Huang et al. (2019). No obstante, Matthews et al. (1997) y Koirala et al. (2016) encuentran una relación positiva entre preparación del terreno y rendimiento del cultivo, debido a la utilización de buenas prácticas agrícolas que sirven como estrategia para moderar los efectos de pérdida de propiedades del agroecosistema arrocero, y de esta manera, facilitar la brotación y el crecimiento óptimo del cultivo.

Por otra parte, este estudio establece que el uso de fertilizantes en el cultivo de arroz tiende a mejorar los rendimientos, dado que, por cada diez mil pesos de gasto por encima del promedio el rendimiento se incrementa en 0.55 t/ha, debido a la importancia de estos para suplir la deficiencia de los nutrientes del suelo y aumentar la fertilidad. Sin embargo, de acuerdo con Agus et al. (2019), para conseguir aumentar los rendimientos del cultivo se requiere del uso eficiente de insumos, así como cambiar las prácticas comunes de manejo de cultivos que pueden agotar o degradar los recursos naturales, en especial el agua y el suelo (Saharawat et al., 2010; Jat et al., 2019), de manera que se pueda mitigar los riesgos de contaminación ambiental y no conduzca a pérdidas de rentabilidad para el agricultor. Por

tanto, se hace necesario que los agricultores realicen las pruebas de suelos y, según las características del terreno, puedan hacer un mejor uso de los insumos que conduzcan a mejorar la fertilidad y tomar medidas efectivas para el cultivo (Sun et al., 2019).

Conclusiones

Este documento analizó la relación entre los rendimientos del arroz seco que se produce en la zona Llanos Orientales de Colombia, con variables tipo climáticas y económicas, evidenciando que la temperatura máxima tiene efectos significativos y positivos sobre los rendimientos de arroz. Sin embargo, con un análisis similar para los efectos de la variable desviación estándar (volatilidad), se desprende que el rendimiento del arroz es más propenso a ser afectado por el exceso de temperatura. De igual manera, se evidencia que el déficit o exceso en el nivel de precipitación presenta efectos adversos sobre el rendimiento del arroz. En cuanto a las variables económicas, la preparación del terreno tiene una relación negativa con los rendimientos, lo cual puede presentarse por la utilización de maquinaria en exceso durante largos periodos de tiempo, afectando las propiedades físico-químicas y biológicas de las tierras destinadas para el cultivo. De otro lado, se puede establecer que el uso de fertilizantes generó efectos positivos sobre los rendimientos del arroz seco en esta zona.

Finalmente, Si bien los impactos de las condiciones climáticas sobre los rendimientos de dicho cultivo difieren de una región a otra, estos dependerán de las condiciones socioeconómicas, uso de semillas mejoradas, y de la aplicación de medidas de adaptación por parte de los agricultores que conduzcan a un uso eficiente de los recursos, de manera que se mitiguen los efectos adversos que la actividad agrícola puede ocasionar sobre los recursos naturales y el medio ambiente. Por tanto, se espera que este estudio motive la realización de investigaciones que determinen los efectos que el cambio climático pueda generar sobre la agricultura y demás sectores estratégicos para las economías regionales, de modo que las estrategias de adaptación sean consideradas en la formulación de política pública.

Referencias bibliográficas

- Adams, R. M., (1989). Global climate change and agriculture: an economic perspective. *American Journal of Agricultural Economics*, 71(5), 1272-1279. DOI: 10.2307/1243120.
- Agus, F., Andrade, J. F., Edreira, J. I. R., Deng, N., Purwantomo, D. K., Agustiani, N., ... & Makka, A. (2019). Yield gaps in intensive rice-maize cropping sequences in the humid tropics of Indonesia. *Field Crops Research*, 237, 12-22. DOI: 10.1016/j.fcr.2019.04.006.
- Barnabás, B., Jäger, K., & Fehér, A. (2008). The effect of drought and heat stress on reproductive processes in cereals. *Plant, cell & environment*, 31(1), 11-38. DOI: 10.1111/j.1365-3040.2007.01727.x.
- Bocchiola, D. (2015). Impact of potential climate change on crop yield and water footprint of rice in the Po valley of Italy. *Agricultural Systems*, 139, 223-237. DOI: 10.1016/j.agsy.2015.07.009.
- Boonwichai, S., Shrestha, S., Babel, M. S., Weesakul, S., & Datta, A. (2018). Climate change impacts on irrigation water requirement, crop water productivity and rice yield in the Songkhram River Basin, Thailand. *Journal of Cleaner Production*, 198, 1157-1164. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.07.146.

- Brouwer F. (1988). Determination of Broad Scale Land Use Changes by Climate and Soils. IIASA Working Paper. International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria: WP-88-007.
- Chen, C. C., McCarl, B., & Chang, C. C. (2012). Climate change, sea level rise and rice: global market implications. *Climatic change*, 110(3-4), 543-560. DOI: 10.1007/s10584-011-0074-0
- Cure, J. D., & Acock, B. (1986). Crop responses to carbon dioxide doubling: a literature survey. *Agricultural and forest meteorology*, 38(1-3), 127-145. DOI: 10.1016/0168-1923(86)90054-7.
- Denardin, L. G. D. O., Carmona, F. D. C., Veloso, M. G., Martins, A. P., de Freitas, T. F. S., Carlos, F. S., ... & Anghinoni, I. (2019). No-tillage increases irrigated rice yield through soil quality improvement along time. *Soil and Tillage Research*, 186, 64-69. DOI: 10.1016/j.still.2018.10.006
- DNP-BID. (2014). Impactos Económicos del Cambio Climático– Síntesis. Bogotá, Colombia.
- Farook, A. J., & Kannan, K. S. (2016). Climate change impact on rice yield in india–vector autoregression approach. *Sri Lankan Journal of Applied Statistics*, 16(3). 161- 178.
- FEDEARROZ. (2008). III Censo Nacional Arrocerero. Federación Nacional de Arroceros - Fondo Nacional del Arroz, Cundinamarca. Bogotá D.C. Disponible en http://www.fedearroz.com.co/doc_economia/Censo%20III%20-%20Libro%20General%2006%20marzo%202008.pdf
- FEDEARROZ. (2011). Dinámica del Sector Arrocerero de los Llanos Orientales de Colombia 1999-2011. Fondo Nacional del Arroz. Bogotá D.C. Disponible en http://www.fedearroz.com.co/doc_economia/Dinamica_del_sector_arrocerero_en_los_Llanos_orientales.pdf
- FEDEARROZ. (2017). IV Censo Nacional Arrocerero. Federación Nacional de Arroceros - Fondo Nacional del Arroz. Bogotá D.C. Disponible en http://www.fedearroz.com.co/doc_economia/Libro%20Censo%20General.pdf
- Goufo, P., Falco, V., Brites, C., Wessel, D. F., Kratz, S., Rosa, E. A., ... & Trindade, H. (2014). Effect of elevated carbon dioxide concentration on rice quality: nutritive value, color, milling, cooking, and eating qualities. *Cereal Chemistry*, 91(5), 513-521. DOI: 10.1094/CCHEM-12-13-0256-R.
- Gujarati, DN., & Porter, DC. 2010. *Econometría: Damodar N. Gujarati y Dawn C. Porter* (5a.ed.--.). México: McGraw Hill.
- Gupta, R., Mishra, A. (2019). Climate change induced impact and uncertainty of rice yield of agro-ecological zones of India. *Agricultural Systems*, 173: 1-11. DOI: 10.1016/j.agsy.2019.01.009
- Huang, M., Chen, J., Cao, F., Zou, Y., Norman, U. (2019). No-tillage effects on grain yield and nitrogen requirements in hybrid rice transplanted with single seedlings: Results of a long-term experiment. *Journal of Integrative Agriculture*, 18 (1): 24-32. DOI: 10.1016/S2095-3119(17)61873-2.
- ICA. (2011). Emergencia fitosanitaria por enfermedad que afecta cultivos de arroz. Consulta: 20 de mayo de 2019. Disponible en: <http://www.ica.gov.co/Noticias/Agricola/2011/Emergencia-fitosanitaria-porenfermedad-que-afecta.aspx>

- Ito, T., Araki, M., Komatsuzaki, M. (2015). No-tillage cultivation reduces rice cyst nematode (*Heterodera elachista*) in continuous upland rice (*Oryza sativa*) culture and after conversion to soybean (*Glycine max*) in Kanto, Japan. *Field Crops Research*, 179: 44-51. DOI: 10.1016/S2095-3119(17)61873-2.
- IPCC. (2014). Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo principal de redacción, R.K. Pachauri y L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Ginebra, Suiza.
- Jat, RK., Singh, RG., Kumar, M., Jat, ML., Parihar, CM., Bijarniya, D., Sutaliya, JM., Jat, MK., Parihar, MD., Kakraliya, SK., Gupta, RK. (2019). Ten years of conservation agriculture in a rice–maize rotation of Eastern Gangetic Plains of India: Yield trends, water productivity and economic profitability. *Field Crops Research*, 232: 1-10. DOI: 10.1016/j.fcr.2018.12.004
- Jing, L., Wang, J., Shen, S., Wang, Y., Zhu, J., Wang, Y. and Yang, L. (2016). The impact of elevated CO₂ and temperature on grain quality of rice grown under open-air field conditions. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(11): 3658-3667. DOI: 10.1002/jsfa.7545
- Kaiser, H. M., & Crosson, P. (1995). Implications of climate change for US agriculture. *American Journal of Agricultural Economics*, 77(3), 734-740. DOI: 10.2307/1243243
- Kang, Y., Khan, S. and Ma, X. (2009). Climate change impacts on crop yield, crop water productivity and food security – A review. *Progress in Natural Science*, 19(12): 1665-1674, ISSN 1002-0071. DOI:10.1016/j.pnsc.2009.08.001.
- Kimball, B.A. (1983). Carbon Dioxide and Agricultural Yield: An Assemblage and Analysis of 430 Prior Observations. *Agronomy Journal*, 75: 779-788. DOI: 10.2134/agronj1983.00021962007500050014x
- Koirala, KH., Mishra, A., Mohanty, S. (2016). Impact of land ownership on productivity and efficiency of rice farmers: The case of the Philippines. *Land Use Policy*, 50: 371-378. DOI: 10.1016/j.landusepol.2015.10.001
- Kontgis, C., Schneider, A., Ozdogan, M., Kucharik, C., Dang Tri, V. P., Hong Duc, N., and Schatz, J. (2019). Climate change impacts on rice productivity in the Mekong River Delta. *Applied Geography*, 102: 71-83, DOI: 10.1016/j.apgeog.2018.12.004
- Lemagne, Jorge & Calzadilla, Alexander. (2012). Investigación mínimos cuadrados generalizados para funciones vectoriales en la geofísica espacial. *Revista Pensamiento Matemático*, 2: 1-21.
- Lichtenberg, E., Shortle, J., Wilen, J. and Zilberman, D. (2010). Natural Resource Economics and Conservation: Contributions of Agricultural Economics and Agricultural Economists. *American Journal of Agricultural Economics*, 92(2): 469–486. DOI: 10.1093/ajae/aaq006
- Lin, E., Xiong, W., Ju, H., Xu, Y., Li, Y., Bai, L., Xie, L. (2005). Climate change impacts on crop yield and quality with CO₂ fertilization in China. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B Biological Sciences*, 360(1463): 2149-2154, DOI: 10.1098/rstb.2005.1743
- Lobell, D. B., & Field, C. B. (2007). Global scale climate–crop yield relationships and the impacts of recent warming. *Environmental Research Letters*, 2(1): 1-7. DOI: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/2/1/014002>

- Lobell, D., & Burke, M. (2010). Climate Change and Food Security. *Advances in Global Change Research*. Springer.
- Maclean, J.L., Dawe, D., Hardy, B., and Hettel, G.P. (2002). Rice almanac: Source book for the most important economic activity on Earth (3rd ed.), IRRI, Los Baños, Philippines.
- Maclean, J., Hardy, B., Hettel, G. (2013). Rice Almanac: Source Book for One of the Most Important Economic Activities on Earth; International Rice Research Institute: Los Baños, Philippines.
- Maraseni, TN., Deo, RC., Qu, J., Gentle, P., Neupane, PR. (2018). An international comparison of rice consumption behaviours and greenhouse gas emissions from rice production. *Journal of Cleaner Production*, 172: 2288-2300. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.11.182
- Mattehews, R., Kropff, M., Bachelet D. 1997. Simulating the impact of climate change on rice production in Asia and evaluating options for adaptation. *Agricultural Systems*, 54 (3):399-425. DOI:10.1016/S0308-521X(95)00060-I
- Meehl, G.A., T.F. Stocker, W.D. Collins, P. Friedlingstein, A.T. Gaye, J.M. Gregory, A. Kitoh, R. Knutti, J.M. Murphy, A. Noda, S.C.B. Raper, I.G. Watterson, A.J. Weaver, Z-C. Zhao. 2007. "Global Climate Projection." Eds: S. Solomon, S. Ainslie, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor, H.L. Miller. Climate Change (2007): The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Nelson, G.C., Rosegrant, M.W., Palazzo, A., Gray, I., Ingersoll, C., Robertson, R., Tokgoz, S., Zhu, T., (2010). Food Security, Farming, and Climate Change to 2050. International Food Policy Research Institute, Washington D.C.
- Nordhaus, William D. (2007). A Review of the Stern Review on the Economics of Climate Change. *Journal of Economic Literature*, 45(3): 686–702. DOI: 10.1257/jel.45.3.686
- Parry, M., Rosenzweig, C., and Livermore, M. (2005). Climate change, global food supply and risk of hunger. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 360: 2125–2138. DOI: 10.1098/rstb.2005.1751
- Peng, S., Huang, J., Sheehy, J. E., Laza, R. C., Visperas, R. M., Zhong, X., Centeno, G. S., Khush, G. S., and Cassman, K. G. (2004). Rice yields decline with higher night temperature from global warming. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101(27): 9971-9975. DOI: 10.1073/pnas.0403720101
- Rashid, MA., Alam, K., Gow, J. (2012). Exploring the relationship between climate change and rice yield in Bangladesh: An analysis of time series data. *Agricultural Systems*, 112: 11-16. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2012.06.004>
- Rosenzweig, C., & Parry, M. L. (1994). Potential impact of climate change on world food supply. *Nature*, 367(6459), 133-138.
- Ruiz, F. 2010. Cambio climático en temperatura, precipitación y humedad relativa para Colombia usando modelos meteorológicos de alta resolución (panorama 2011-2100). Nota Técnica de IDEAM, No. IDEAM–METEO/005-2010, Bogotá D.C., 91 páginas.
- Ruiz, M., Díaz, G., Polón, R. 2005. Influencia de las tecnologías de preparación de suelo cuando se cultiva arroz (*Oryza sativa* L.). *Cultivos Tropicales*, 26(2): 45-52.
- Saharawat, YS., Singh, B., Malik, RK., Ladha, JK., Gathala, M., Jat, ML., Kumar, V. (2010). Evaluation of alternative tillage and crop establishment methods in a rice–wheat rotation in north-western IGP. *Field Crops Research*, 116 (3): 260-267.

- Schmidhuber J., and Tubiello F. (2007). Global food security under climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104(50): 19703-19708.
- Schlenker, W., Hanemann, W., and Fisher, A. (2006). The Impact of Global Warming on U.S. Agriculture: An Econometric Analysis of Optimal Growing Conditions. *The Review of Economics and Statistics*, 88(1): 113–125. DOI: 10.1162/rest.2006.88.1.113
- Sheehy, JE., Mitchell, PL., Ferrer, AB. (2006). Decline in rice grain yields with temperature: Models and correlations can give different estimates. *Field Crop Res.*, 98 (2-3): 151-156. DOI: 10.1016/j.fcr.2006.01.001
- Shrestha, S. Chapagain, R., Babel, MS. (2017). Quantifying the impact of climate change on crop yield and water footprint of rice in the Nam Oon Irrigation Project, Thailand. *Science of The Total Environment*, 599–600: 689-699. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.05.028Get
- Singh, S., Amartalingam, R., Harun, WSW., Tarifulislam, MT. (1996). Simulated impact of climate change on rice production in Peninsular Malaysia. *Proceeding of the National Conference on Climate Change*,
- Stuecker MF., Tigchelaar M., Kantar MB. (2018). Climate variability impacts on rice production in the Philippines. *PLoS ONE* 13(8). DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0201426>
- Sun, Y., Hu, R., Zhang, C. (2019). Does the adoption of complex fertilizers contribute to fertilizer overuse? Evidence from rice production in China. *Journal of Cleaner Production*, 219: 677-685. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.02.118
- Vaghefi, N., Shamsudin, M.N., Makmom, A., and Bagheri, M. (2011). The economic impact of climate change on the rice production in Malaysia. *International Journal of Agricultural Research*, 6(1): 67-74.
- Van Oort, P. A., & Zwart, S. J. (2018). Impacts of climate change on rice production in Africa and causes of simulated yield changes. *Global change biology*, 24(3), 1029-1045. DOI: 10.1111/gcb.13967
- Vargas-Pineda, O. I., Trujillo-González, J. M., & González-García, N. (2018). Análisis de un sistema de cosecha de agua lluvia a pequeña escala con finalidad pecuaria. *Revista Luna Azul*, (46), 20-32. DOI: 10.17151/luaz.2018.46.3
- Wheeler, T., & Kay, M. (2010). Food crop production, water and climate change in the developing world. *Outlook on Agriculture*, 39(4), 239-243. DOI: <https://doi.org/10.5367/oa.2010.0017>
- Yao, F., Xu, Y., Lin, E., Yokozawa, M., Zhang, J. (2007). Assessing the impacts of climate change on rice yields in the main rice areas of China. *Climatic Change*, 80(3-4): 395–409. DOI: 10.1007/s10584-006-9122-6