

Análisis de la influencia del clima en la producción de la *Musa acuminata*-AAA piurana, 2000-2019

Influence analysis of the climate in the production of the *Musa acuminata*-AAA piurana, 2000-2019

Carlos Enrique Oballe Neyra¹, Xiomara de los Milagros Masias Rugel¹
Instituto de Investigación en Economía y Eficiencia Productiva.
Universidad Nacional de Frontera, Sullana, Piura, Perú.

RESUMEN

Este estudio investiga el análisis de la influencia que tiene el clima en la producción de la *Musa acuminata*-AAA en Piura desde el año 2000 hasta 2019. Para la investigación se usó el enfoque de SARIMAX (*Seasonal Auto Regressive Integrated Moving Average with exogenous regressors* en inglés) que es una extensión del modelo ARIMA, sobre un modelo econométrico cuadrático múltiple para analizar el efecto que tienen el área cosechada, la temperatura máxima, temperatura mínima, precipitación y humedad relativa en la producción de la *Musa acuminata*-AAA piurana. A través de su forma cóncava o convexa, el estudio emplea el modelo econométrico cuadrático múltiple para demostrar la negativa alteración de la producción cuando las variables climáticas se encuentran fuera de sus umbrales, y determinar el nivel de significancia de cada variable exógena sobre la endógena. Los resultados muestran que la producción se ve negativamente impactada por la presencia de humedad relativa y temperatura superficial alta de meses anteriores, y positivamente impactada por la precipitación y temperatura máxima. Todas las variables tienen significancia con p-value inferior a 0.05.

Palabras clave: Cambio climático, Producción, Temperatura, Precipitación pluvial, Función de producción.

ABSTRACT

This study investigates the analysis of the influence of climate on the production of *Musa acuminata*-AAA in Piura from 2000 to 2019. For the research, the SARIMAX (*Seasonal AutoRegressive Integrated Moving Average with exogenous regressors*) approach was used, which is an extension of the ARIMA model, on a multiple quadratic econometric model to analyze the effect of the harvested area, maximum temperature, minimum temperature, precipitation and relative humidity on the production of *Musa acuminata*-AAA piurana. Through its concave or convex shape, the study uses the multiple quadratic econometric model to demonstrate the negative alteration of production when climatic variables are outside their thresholds, and to determine the level of significance of each exogenous variable over the endogenous one. The results show that production is negatively impacted by the presence of relative humidity and high surface temperature of previous months, and positively impacted by precipitation and maximum temperature. All variables have significance with p-value less than 0.05.

Keywords: Climate change, Production, Temperature, Rainfall, Production function.

¹ Instituto de Investigación en Economía y Eficiencia Productiva, Universidad Nacional de Frontera – UNF, Sullana, Piura, Perú. Email: 2014101053@unf.edu.pe

1. INTRODUCCIÓN

El cambio climático (CC), causada por el efecto invernadero, está afectando el desarrollo de cada nación en sus diferentes sectores; productivo, agrícola, comercial, entre otros. El sector económico de producción se ha visto afectada por ausencia o presencia extrema de las precipitaciones, así como temperaturas extremas que impactan de forma negativa la capacidad del suelo, el rendimiento y calidad de los cultivos y, un conjunto de indicadores socioeconómicos. Aumento de los niveles volumétricos de las aguas marítimas, anomalías extremas en las diferentes costas geográficas y diferentes transmisiones de enfermedades son causados por la variabilidad y forma en el uso del suelo, extinción de los diferentes tipos de bosques y alteración en los diferentes ecosistemas (CEPAL, 2010). Esto conlleva a una alta sensibilidad de los diferentes cultivos frente a variabilidades y dinámicas de la temperatura o precipitación pluvial, principalmente en regiones que utilizan métodos y técnicas de siembra y riego con procedimientos tecnológicos tradicionales que llevan a la espera de condiciones climáticas favorables como la precipitación pluvial para una mejor producción. A pesar que la compatibilidad negativa agrícola no resulta ser homogénea en las diferentes regiones del globo cultivables a diferentes escales (Galindo, 2009), en el Perú, el efecto producido por el cambio climático es heterogéneo debido a sus diferentes microclimas, los cuales se encuentran compuestos por 84 ecosistemas. El Perú cuenta con 28 diversidades climáticas de 34 conocidas en el planeta. Esto implica diferentes formas de impacto dependiendo del área y clima que son aprovechadas positivamente y otras se convierten en perjuicio (Cline, 2008). Según INIA (1996), el clima es un determinante para la agricultura porque los cultivos se encuentran asociados de manera directamente proporcional a variables como niveles de temperatura, precipitación pluvial, tiempo de exposición solar, velocidad del viento, humedad relativa, entre otros.

En dicho contexto, la agricultura es uno de los sectores más vulnerables ante el cambio climático, incluso para el caso de la Musa acuminata-AAA, el cual viene afectando el nivel productivo, aprovechamiento y calidad del fruto porque los niveles de temperatura y precipitaciones pluviales sobrepasan sus umbrales óptimos aceptables, asimismo con la humedad relativa, que genera en muchos casos anomalías fungosas, siempre que el umbral óptimo sea mayor al 80% (Guarin, 2011).

Actualmente se desarrollan diferentes investigaciones asociadas al cambio climático con la finalidad de contribuir a la mitigación de esta y permitir la adaptación de diferentes cultivos a la dinámica y variabilidad climática a través de la información y conocimiento necesarios. Diferentes características observables en relación al clima de la región, tales como, meses de alta precipitación y meses o años de sequía, son factores climáticos que se vienen comportando de manera extrema, generando desequilibrios a los umbrales reflejados en erosiones de suelos, sequías prolongadas, propagación de plagas y desequilibrios de ciclos fisiológicos del cultivo (Tavara, 2020). Piura se caracteriza por tener un clima cálido, con temperaturas elevadas que alcanzan hasta los 40°C entre febrero y marzo, mientras que las temperaturas pueden bajar hasta los 15°C entre julio y agosto, con presencia de 66% de humedad relativa y de 1550 mm de precipitaciones en promedio anual (Cabrejos, 2011). Existen zonas productoras de Musa acuminata-AAA a lo largo del Valle del Chira, San Lorenzo, Medio Piura y Alto Piura (Gobierno Regional de Piura, 2017).

Este estudio busca evidenciar y contrastar los factores climáticos, así como su incidencia sobre la producción y el rendimiento. Siendo la variable precipitación la única de mayor

influencia y el resto de influencia débil, pero que conjuntamente muestran una fuerte relación en el modelo, que será destinada para enriquecer la gama de conocimientos y pueda colaborar en la toma de decisiones o servir de guía para posibles políticas.

En el primer capítulo, se identifica el problema de investigación a partir de la necesidad de vacíos de información relacionados al tema. En dicho segmento se formulan las hipótesis, se recopila la literatura bibliográfica útil para la metodología de este trabajo. En el segundo capítulo se diseña la metodología, el modelo econométrico y un previo análisis de datos. En el tercer capítulo se desarrolla las evaluaciones estadísticas descriptivas, análisis inferencial y estadística de resultados del modelo y se determinan los umbrales óptimos de producción y rendimiento de la Musa acuminata-AAA.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Ángulo (2009), sostiene que durante la fase de desarrollo fisiológico de la Musa acuminata-AAA, pasa por una serie de transformaciones hasta que el racimo es cosechado de 90 a 120 días posterior de la salida de inflorescencia. Esto significa que las variables climáticas deben ser las óptimas durante este intervalo de tiempo, asimismo, las estaciones lluviosas en regiones como Piura pueden abarcar periódicamente entre 3 y 4 meses continuos. Estas razones permitieron agrupar los datos en 4 meses promediados y aplicar un modelo rezagado de orden 1 al grupo de las variables exógenas (climáticas).

El enfoque que se utiliza es el modelo de procesos o términos autorregresivos y medias móviles de tendencia poligonal (SARIMAX), el enfoque será ajustado a ciertas consideraciones explicadas más adelante.

El modelo econométrico sigue especificaciones estadísticas aplicadas en Lecarnaque, (2022). No obstante, el presente estudio implementará el modelo con rezagos de las variables exógenas y no considerará factores cuadráticos, de manera que el modelo es la siguiente expresión:

$$ProdMa_t = \beta_1 + \beta_2 Prec_{t-1} + \beta_3 Tmax_{t-1} + \beta_4 Hre_{t-1} + \beta_5 Ts_{t-1} + e$$

Donde:

$ProdMa_t$: Producción de Musa acuminata-AAA del tiempo t , β_i : parámetros del modelo, $Prec_{t-1}$: precipitación del periodo anterior, $Tmax_{t-1}$: temperatura máxima del periodo anterior, Hre_{t-1} : humedad relativa del periodo anterior, Ts_{t-1} : temperatura superficial anterior y e : el termino de error.

Dado que la variable endógena de serie de tiempo naturalmente presenta tendencia, se aplica la primera diferencia a todo el modelo para quedarnos con las fluctuaciones de corto plazo tanto de la variable endógena y las variables exógenas si es que fuesen series no estacionarias, además, su aplicación es necesario para encontrar estacional entre las variables estudiadas, de no ser así, las variables no estacionarias se diferencian tantas veces hasta encontrar una raíz que las vuelva estacionaria y con sus medias y varianzas más estables (constantes) es más fácil de encontrar una relación (Montero, 2013).

Después de este previo tratamiento de datos, se aplica el enfoque SARIMAX ajustado a ciertas consideraciones que se discutirán a continuación.

2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La siguiente tabla 1, muestra la información estadística de los resultados arrojados por el modelo SARIMA (SARIMAX model), básicamente una extensión del modelo de procesos autorregresivos y medias móviles ARIMA, adecuado para analizar y evaluar data con tendencia cuadrática, así como lineal. Las 72 observaciones se tomaron en grupos de 4 meses (data tetramestral) desde enero de 1999 hasta diciembre de 2022. Para el estudio se empleó un modelo SARIMAX de orden (0, 1, 0) después de analizar y evaluar distintas propuestas y consideraciones de un set de modelos preseleccionados.

Tabla 1.

Resultados arrojados por el modelo SARIMA.

SARIMAX Results						
Dep. Variable:	tend-prod	No. Observations:	72			
Model:	SARIMAX(0, 1, 0)	Log Likelihood	-688.478			
Date:	Thu, 28 Dec 2023	AIC	1388.956			
Time:	01:22:53	BIC	1402.532			
Sample:	04-01-1999	HQIC	1394.355			
			- 12-01-2022			
Covariance Type:	opg					
	Coef	std err	z	P> z	[0.025	0.975]
intercept	24.2862	533.440	0.046	0.964	-1021.238	1069.810
prec	60.3064	28.687	2.102	0.036	4.081	116.532
tmax	741.4691	396.034	1.872	0.061	-34.743	1517.681
hre	-464.0628	187.404	-2.476	0.013	-831.368	-96.757
ts	-998.6768	443.525	-2.252	0.024	-1867.969	-129.384
sigma2	1.549e+07	2.06e+06	7.523	0.000	1.15e+07	1.95e+07
Ljung-Box (L1) (Q):	15.80	Jarque-Bera (JB):	31.92			
Prob(Q):	0.00	Prob(JB):	0.00			
Heteroskedasticity (H):	6.12	Skew:	-0.89			
Prob(H) (two-sided):	0.00	Kurtosis:	5.76			

Nota. Datos obtenidos de MIDAGRI y de la base de datos atmosféricos de la NASA.

Los criterios para la elección de dicho modelo se deben a las siguientes consideraciones:

No existen términos autorregresivos (AR) $p = 0$: existen otras variables que pueden explicar la variable endógena (Producción de *Musa acuminata*-AAA) como factor tierra, trabajo, área. Sin embargo, no hay evidencia suficiente ni razón para pensar que la producción de banano orgánico en el tiempo t sea explicado por sus propios rezagos en el tiempo (es decir por sí misma), lo que está en discusión es la relación de la producción de banano del tiempo (t) y las variables climáticas rezagadas ($t-1$).

Tendencia lineal estocástica no estacionaria de la variable endógena $d = 1$: se ha propuesto un modelo con tendencia lineal y otro con tendencia cuadrática en la variable endógena por su forma. El estadístico AIC más bajo debería ayudar en la selección del modelo debido a un mejor ajuste de los datos. El AIC maneja un trade-off entre la bondad de ajuste del modelo y la complejidad del modelo.

No existen términos de medias móviles (MA) $q = 0$: dado que las medias móviles relacionan el error presente y pasado de la variable endógena, volvemos a aclarar que la producción de banano no se explica por sus propios rezagos, por lo tanto, la relación de los errores de dicha variable no tiene importancia.

Por último, se agruparon y promediaron los datos en 4 trimestres con la hipótesis nula que argumenta a favor de una fuerte relación entre la producción de banano en el tiempo t y las variables climáticas con orden de rezago 1. Asimismo, durante el proceso se observó que existe una cointegración fuerte entre las variables independientes con la variable dependiente y entre las variables exógenas mismas. Esto trajo problemas al modelo por tratar de generar significancias estadísticas a las variables en conjunto y se concluyó que existen variables cuya presencia afecta el análisis de otras en cuestiones estadísticas, por ello, la variable temperatura mínima (T_{min}) será ignorada por razones convenientes y lógicas (temperatura superficial (T_s) actúa como un promedio entre la temperatura mínima y máxima).

En la tabla 2, se observa un AIC de 1398.956 para el modelo en mención, este resultado significa un alto ajuste de datos al modelo, se observa un Jarque-Bera positivo lo que indica que la desviación de los errores no sigue una distribución normal y con respecto a las variables exógenas; todas tienen un valor de p -value menor a 0.05, excepto temperatura máxima cuya significancia débil se evidencia por una pequeña diferencia fuera del límite, con un 0.061 de probabilidad.

Debemos reafirmar que existe co-integración, esta pueda ser una de las causas de una significancia débil, siendo las variables de precipitación, humedad relativa y temperatura superficial las necesarias, queda a juicio del lector.

Tabla 2.

Resultados arrojados por el modelo SARIMA con un AIC de 1398.956

SARIMAX Results						
Dep. Variable:	tend-prod	No. Observations:	72			
Model:	<u>SARIMAX(0, 2, 0)</u>	Log Likelihood	-750.311			
Date:	Thu, 28 Dec 2023	AIC	1512.622			
Time:	02:56:40	BIC	1526.113			
Sample:	04-01-1999	HQIC	1517.981			
	- 12-01-2022					
Covariance Type:	<u>opg</u>					
=====						
	<u>coef</u>	<u>std err</u>	z	P> z	[0.025	0.975]

intercept	112.6710	1463.873	0.077	0.939	-2756.467	2981.809
prec	227.5513	57.154	3.981	0.000	115.531	339.571
tmax	1864.4016	668.669	2.788	0.005	553.835	3174.969
hre	-952.5281	337.984	-2.818	0.005	-1614.965	-290.091
ts	-2844.9184	772.445	-3.683	0.000	-4358.884	-1330.953
sigma2	1.196e+08	1.97e+07	6.065	0.000	8.09e+07	1.58e+08
=====						
Ljung-Box (L1) (Q):	23.76	Jarque-Bera (JB):	3.68			
Prob (Q):	0.00	Prob (JB):	0.16			
Heteroskedasticity (H):	4.21	Skew:	0.32			
Prob(H) (two-sided):	0.00	Kurtosis:	3.93			
=====						

Nota. Datos obtenidos de MIDAGRI y de la base de datos atmosféricos de la NASA.

2.1. Impacto de niveles de temperatura no uniforme en la producción de Musa acuminata-AAA

Una relación poco usual se ha evidenciado en los resultados al mostrar signos diferentes en las variables temperatura máxima (Tmax) y temperatura superficial (Ts), pues se observa que el coeficiente de Tmax es positivo y negativo para Ts. Esto implica que la producción de Musa acuminata-AAA aumenta cuando aumenta la temperatura máxima y disminuye

cuando aumenta la temperatura superficial cercana al suelo, esto nos lleva a pensar de un complejo comportamiento que tienen las plantas por preferir no solo un nivel de temperatura uniforme a lo largo de toda su extensión sino de niveles óptimos diferentes en diferentes partes de su extensión. En otras palabras, la producción de la *Musa acuminata*-AAA se verá favorable cuando la temperatura máxima aumenta hasta cierto umbral y la Temperatura superficial cercana al suelo disminuya hasta un umbral óptimo diferente. Esto es, debido a que diferentes partes de la planta reacciona de un modo distinto a la temperatura; la temperatura de los frutos es similar a la del aire y tiene una relación positiva aunque fluctúa menos que la del ambiente, la temperatura de las hojas en la parte más alta del follaje experimentará mayores fluctuaciones que la de las hojas situadas en la parte baja, asimismo, el follaje de la zona superior se calentará más fácilmente por irradiación, por lo tanto, alcanzará temperaturas más altas que las del ambiente cuando los niveles de luz sean altos (CANNA Research). Adicionalmente, se sabe que el calentamiento acelera la mineralización de la materia orgánica y, por tanto, mejora la disponibilidad de los nutrientes (Dielman et al., 2012). Otra investigación mostró que floraciones de plantas concluyeron en el día 352.5 ± 5.9 en parcelas no calentadas, mientras que en parcelas calentadas concluyeron en el día 327.8 ± 4.3 , mostrando la influencia directa del calentamiento en el rendimiento de las plantas (Mark et al., 2008).

Por otro lado, la relación inversa o efecto negativo de la temperatura superficial puede darse por la modificación química que sufre el mismo suelo o modificación sensible de la planta a temperaturas relativamente altas de la superficie, en un estudio se observó que el calentamiento decenal del suelo no altera significativamente la relación raíz-brote e incluso reduce la producción de raíces finas pero también reduce la biomasa y producción aéreas, encontrando que, la temperatura no era impulsor de estas respuestas, pero sí las pérdidas de nitrógeno del suelo, debido a la disminución de la materia orgánica y la capacidad de retención de agua inducidas por el calentamiento, se identificaron como el factor clave de la disminución de la producción aérea y subterránea (Chao Fang et al., 2023).

2.2.Efectos interactivos entre las variables climáticas

Se observó el comportamiento de la producción en el periodo t en relación de la interacción de las 4 variables exógenas (Prec, Tmax, Hr, Ts) rezagadas en el tiempo $t-1$, encontrando entre los resultados, interacciones positivas, donde temperatura máxima (Tmax) y precipitaciones (Prec) tienen una relación positiva, reforzando la hipótesis que la producción de *Musa acuminata*-AAA aumenta con aumentos de la temperatura ambiental y con aumentos óptimos de la precipitación, pero el efecto conjunto se vuelve negativa si la precipitación se excede y sobrepasa cierto umbral sin importar los aumentos óptimos de la temperatura ambiental (Lecarnaque, 2022). En zonas templadas semiáridas del norte de China, efectos positivos del calentamiento sobre la productividad de las raíces, mortalidad y cultivo en pie (renovación) se observaron solo bajo precipitación ambiental, sin embargo, el calentamiento redujo estas variables en precipitaciones elevadas, con fuertes implicancias en el ciclo del carbono en el ecosistema (W. Bai et al., 2009). Es preciso mencionar que los datos tomados y promediados en grupos de 4 meses suaviza el efecto de las precipitaciones elevadas y mantiene una relación positiva y alta significancia.

Asimismo, la producción de la *Musa acuminata*-AAA se examinó bajo las variables de humedad relativa (Hs) y temperatura superficial (Ts), que mostraron una relación negativa. uno de los principales argumentos probados en un estudio sostuvo que la evaporación del suelo se acelera cuando las temperaturas se ven incrementadas y con ello aumentaría la transpiración de las plantas, lo que ocasiona más humedad en sus hojas, dicho proceso se denomina “evapotranspiración” (Lecarnaque, 2022). Como resultado, se comprobó la hipótesis que argumentaba el efecto negativo de la humedad relativa en la producción de *Musa acuminata*-AAA debido a la proliferación de microorganismos, aunque con significancia débil.

Cabe resaltar que aumentos en la precipitación debería incrementar la humedad relativa y ambos afectar a la producción en el mismo sentido, no obstante, la fenología de la planta y la existencia de temperaturas altas, cambian el sentido del efecto de variables que tienen una relación altamente directa, esto fue demostrado al observar que existe una fuerte co-integración entre las variables exógenas. De la misma forma, la temperatura superficial cerca del suelo incide negativamente y la temperatura ambiental máxima afecta positivamente, cuyas razones fueron expuestas anteriormente.

3. CONCLUSIONES

En la presente investigación se ha comprobado una fuerte significancia en la relación negativa de la humedad relativa en la producción de *Musa acuminata*, validando la hipótesis que incrementos en la humedad relativa tiende a disminuir la producción por la proliferación de patógenos y microorganismos (Lecarnaque, 2022) aunque estos pueden tener variaciones de acuerdo a su nivel óptimo.

La interacción de muchas variables climáticas y no climáticas y la fenología de la planta, no permite conocer con exactitud aquellas variables que estimulan el proceso de producción de las plantas, en especial de la *Musa acuminata*. Hemos empezado a entender la compleja relación de determinantes de la *Musa acuminata*, la cual elige una combinación poco usual de diferentes niveles de temperaturas, humedad relativa y precipitación o se adapta por mecanismos naturales en relación a una óptima producción de sus frutos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ali et al., (2023), Autoregressive Distributed Lag Modeling of Climate and Non-climatic Determinants Affecting Cereal Production: Empirical Evidence from Somalia. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 2023, 13(5), 577-584. Doi: doi.org/10.32479/ijeep.14553

(CANNA,Research)https://www.canna.es/influencia_temperatura_ambiental_en_las_plantas

Chandio et al., (2022), Assessing the impacts of climate change on cereal production in Bangladesh: evidence from ARDL modelling approach. *International Journal of Climate Change Strategies and Management* Vol. 14 No. 2, 2022 pp. 125-147. Doi: 10.1108/IJCCSM-10-2020-0111

Chao Fang et al., (2023), Decadal soil warming decreased vascular plant above and belowground production in a subarctic grassland by inducing nitrogen limitation. *Global Change Biology*. doi.org/10.1111/nph.19177.

Lecarnaqué A, (2022), Efectos del cambio climático en la producción y rendimiento de la *Musa acuminata*-AAA piurana, 2000-2019. Universidad Nacional de Frontera.

Montero. R (2013), Variables no estacionarias y cointegración. Documentos de Trabajo en Economía Aplicada. Universidad de Granada. España.

Wouter I. J. Dieleman et al., (2012), Simple additive effects are rare: a quantitative review of plant biomass and soil process responses to combined manipulations of CO₂ and temperature. *Global Change Biology*, 7. doi: 10.1111/j.1365-2486.2012.02745.x

Mark J. Hovenden et al., (2008), Flowering phenology in a species-rich temperate grassland is sensitive to warming but not elevated CO₂. *New Phytologist*, 178: 815–822.

Wenming Bai et al., (2009), Increased temperature and precipitation interact to affect root production, mortality, and turnover in a temperate steppe: implications for ecosystem C cycling. *Global Change Biology* (2010), 16, 1306–1316. doi: 10.1111/j.1365-2486.2009.02019.x