



**Efectos del cambio climático
en la producción y rendimiento
de 5 cultivos agrícolas,
región Piura, Perú 1973-2018**

Mario Villegas Yarlequé
Gretel Fiorella Villegas Aguilar

Lucy Mariella García Vilela

Marcos Timaná Álvarez

Jannyna Reto Gómez

Marlon Martín Mogollón Taboada



Efectos del cambio climático
en la producción y rendimiento
de 5 cultivos agrícolas,
región Piura, Perú 1973-2018

Efectos del cambio climático
en la producción y rendimiento
de 5 cultivos agrícolas,
región Piura, Perú 1973-2018

Mario Villegas Yarlequé
Gretel Fiorella Villegas Aguilar
Lucy Mariella García Vilela
Marcos Timaná Álvarez
Jannyna Reto Gómez
Marlon Martín Mogollón Taboada



Mario Villegas Yarlequé
Gretel Fiorella Villegas Aguilar
Lucy Mariella García Vilela
Marcos Timaná Álvarez
Jannyna Reto Gómez
Marlon Martín Mogollón Taboada

Efectos del cambio climático
en la producción y rendimiento
de 5 cultivos agrícolas,
región Piura, Perú 1973-2018

ISBN: 978-9942-603-12-8

Savez editorial

Título:

Las tecnologías
de la información en la investigación.
Un modelo didáctico

Primera Edición: Diciembre 2021

ISBN:978-9942-603-12-8

Obra revisada previamente por la modalidad doble par ciego, en caso de requerir información sobre el proceso comunicarse al correo electrónico editor@savezeditorial.com

Queda prohibida la reproducción total o parcial de esta obra por cualquier medio electrónico, mecánico, fotocopia, grabación u otros), sin la previa autorización por escrito del titular de los derechos de autor, bajo las sanciones establecidas por la ley. El contenido de esta publicación puede ser reproducido citando la fuente.

El trabajo publicado expresa exclusivamente la opinión de los autores, de manera que no compromete el pensamiento ni la responsabilidad del Savez editorial

Introducción

El sector agropecuario registró un crecimiento promedio anual de 3.3%, donde la actividad agrícola de la región y unos de los más importantes son los cultivos de arroz en cascara, mango, maíz amarillo duro, limón sutil y cacao.

En este estudio se muestra como el cambio climático causa efectos en la producción y rendimiento de los cultivos antes mencionados en el departamento de Piura, Perú en el periodo 1973-2018.

Mediante el método de mínimos cuadrados ordinarios y usando el software econométrico STATA 16, se realizó las estimaciones con cada cultivo para observar el impacto que tienen en la producción y rendimiento en tanto para obtener el umbral óptimo de las variables que más impacto tienen en el cultivo se calcula mediante derivadas parciales.

Por lo menos en las 3 últimas décadas, el calentamiento global asociado por la actividad antropogénica ha alterado el cambio climático en todo el mundo. Según el Instituto Internacional de Investigación sobre políticas alimentarias detalló que el aumento irrestricto de gases está subiendo la temperatura; donde la agricultura es el principal afectado ya que es vulnerable a estos cambios bruscos en el clima donde termina por perjudicar a la producción de cultivos y a la vez provoca las plagas y el crecimiento de hierbas malas, todo esto afectará negativamente a la agricultura y por ende al bienestar humano.

Según el Ministerio de Agricultura y Riego la región Piura posee 227,572 has., potencialmente aptas para la

agricultura donde algunos de los cultivos más importantes son el arroz, limón, mango, maíz amarillo duro y actualmente el boom del cacao por su excelente calidad por lo tanto saber los efectos del cambio climático sobre estos 5 productos nos brinda un mejor conocimiento de lo que puede suceder en general con los principales aportantes al PBI regional.

La Comisión Económica para América Latina y el Caribe en su estudio titulado "Efectos del Cambio Climático sobre la agricultura" demostraron que a mayores niveles de precipitación acumulada en los meses de mayo a octubre originaron beneficios en el cultivo ya que obtuvieron los más altos índices de producción, también señalaron que de experimentar disminuciones en la precipitación acumulada los efectos serian contrarios lo que quiere decir que la producción de los cultivos se reduciría. A nivel de cultivos para el maíz, el arroz y el banano la temperatura optima permitiría generar mayores rendimientos en la producción y donde se siga teniendo esos incrementos en la temperatura estos cultivos van a sufrir caídas considerables.

Situación problemática

El agro peruano muestra tendencias decrecientes en la producción y rendimiento en casi todos los cultivos permanentes y no permanentes en todas las regiones del país, donde la región Piura no es la excepción. Esta tendencia también se presenta en el agro regional, es por ello que esta investigación trata de determinar la probable causalidad que existe entre el cambio climático y la producción y rendimiento de los cultivos agrícolas que tienen importancia para la economía de un buen sector de la población que se dedica a la explotación de estos cultivos.

El problema lo estudiamos a partir de la siguiente pregunta: ¿Los cambios climáticos en la temperatura y precipitación pluvial promedio anual presentan algún efecto en la producción y rendimiento de los cultivos de maíz, mango, limón, cacao y arroz en la región Piura en el periodo 1973-2008?

Esta investigación está delimitada a solo 5 cultivos de la región Piura y se elabora a base de la información de series de tiempo en el Ministerio de Agricultura y Riego del sistema de series estadísticas de la producción agrícola (SEPA) y del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (2010) (SENAMHI) para extraer las variables de temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación pluvial.

Se justifica porque va a permitir que los agricultores que se dedican a estos cultivos puedan o estén en condiciones de adoptar medidas de mitigación para tratar de hacer frente a los efectos negativos del cambio climático como por

ejemplo sustituir un determinado cultivo por otro que ofrezca mejores características para enfrentar dichos cambios. Al nivel de la política agraria se podría inducir a la decisión de invertir recursos en conseguir tecnología en cultivos previos capacitación de los agentes del agro.

Castilla (2010), en un estudio para la economía piurana de cultivos para la exportación como el mango, limón, café y plátano arrojó que el rendimiento de estos productos es explicado en más de 50% por variables climáticas, en base a las estimaciones realizadas se cuantifico pérdidas en el rendimiento de los cultivos en la proyección del año 2030 pero en el caso del café un mayor aumento de temperatura beneficia su producción y por ende el rendimiento hasta en un 41%.

De otro lado, respecto al cultivo de la quinua en el Distrito de Juli, Puno, Carrasco (2016) encontró que al elevarse 1°C la temperatura máxima, la producción se reduce 112.2 TM. y el rendimiento 169.1 Kg/Ha; por la elevación de las precipitaciones pluviales en 300 mm la producción se reduce en 75.78 TM y el rendimiento en 127 Kg/Ha.

En otro antecedente nacional es la investigación de (Quispe, 2015) afirma "El cambio climático a nivel local, nacional e internacional ha causado preocupación entre los científicos y la sociedad civil, debido a que las variables climáticas como la temperatura, precipitación, nivel del mar, entre otros, medidas del cambio de clima, están siendo severamente afectadas y estas a su vez generan impacto sobre los diversos sectores productivos como el agrario, los que se ven afectados en sus rendimientos", utiliza el enfoque de la función de producción mediante el análisis de cointegración con data de 1960 a 2010, estima los cambios en las temperatura máxima promedio (16.4°), éstos producen efectos negativos en el rendimientos de los cultivos de papa, maíz y habas y por el contrario, en los cultivos de quinua y cañihua aún

tienen rendimientos positivos. Además utiliza el enfoque ricardiano para cuantificar las pérdidas económicas producto de la elevación de la temperatura en 1° Celsius, utilizando una tasa de descuento del 2% anual, realiza una proyección al 2035 encuentra que dichas pérdidas alcanzan al 0.58% del PIB Puno 2010 que equivalen a 20 millones de dólares americanos corroborando de éste modo los efectos negativos y cuando el agricultor toma decisiones respecto al cambio climático las pérdidas económicas se reducen en el 43.93 % en el escenario más severo (tasa de descuento del 2%). Según, Loyola R. (2010) el objetivo de su estudio fue determinar el costo del cambio climático (CC) en la agricultura de los departamentos de Piura y Lambayeque para el periodo 2010-2100. Estudia cultivos comunes representativos de ambas regiones, tales como arroz, maíz amarillo, limón, y mango, utilizan el método agronómico donde suponen que los agricultores no tienen capacidad de reacción ante los cambios climáticos, éste enfoque modela el crecimiento de un cultivo en función al cambio de la temperatura, precipitación y el nivel de otros insumos necesarios, donde la productividad de muchos cultivos depende básicamente si la temperatura y/o nivel de precipitación está por debajo o encima de un determinado umbral.

Cabe anotar que los resultados de nuestra investigación son muy similares a los encontrados por estos investigadores los que pasamos a detallar siendo los siguientes: En el caso del plátano, resultó siendo la temperatura máxima la variable significativa, cuyo umbral de la temperatura máxima fue 25°C. para el caso del limón, la variable significativa fue la temperatura máxima, cuyo umbral estimado fue 15°C. Para el algodón y mango en ambos casos, la relación temperatura y producción fue cóncava, conforme a lo esperado. Los umbrales de temperatura estimados fueron 30 y 19.3 °C, respectivamente. La variable temperatura máxima fue significativa para el arroz mientras que para el maíz

amarillo duro lo fue la temperatura mínima donde los umbrales para ambos cultivos fueron 26.9 y 23 °C respectivamente.

Otra investigación sobre los efectos del cambio climático es el que realiza Belisario Quispe (2015) en la cuenca Ramis Puno donde encuentra que "las temperaturas máximas presentan tendencias significativas a nivel anual del incremento promedio de 0.04°C/año con evidencia leve (0.05), asimismo las tendencias de las temperaturas medias muestran un evidente (0.01) cambio de incremento en 0.025°C/año, solo en estación Macusani disminuye con evidencia leve (0.05). Las temperaturas mínimas a nivel de cuenca presentan un incremento de 0.0004°C/año, mientras Arapa y Progreso presenta cambio negativo con 0.01; Las precipitaciones pluviales presentan tendencias negativas de 0.70mm/año a nivel de cuenca Ramis, pero no se identifica una tendencia regional marcada de disminución. Los días de precipitación y temperatura máxima viene afectando significativamente a rendimientos del cultivo de haba con un incremento de 23.89kg/ha, mientras que las temperaturas mínimas y precipitación total no muestran impactos; en el cultivo papa las temperaturas y días de precipitación generan impactos significativos con 83.41kg/ha de incremento, asimismo la precipitación total no muestra significativo impacto."

En base a un modelo de datos de panel para el periodo 2008-2012, Ricardo Ramos Rojas (2013) concluye que para los cultivos de café y uva no se encontró evidencia estadística de que estén siendo afectados por el cambio climático. Sin embargo, los cultivos de mango, palta, plátano y espárrago sí están siendo afectados por el cambio climático, un aumento de 1% de la variabilidad de la temperatura aumentó 129% y 20% la producción de mango y espárrago, respectivamente; mientras que la producción de palta disminuyó 120% y la de plátano 18%. Por otro lado, el único cultivo afectado por la variabilidad de la

precipitación fue el de palta: un aumento de 1% de la variabilidad de la precipitación disminuyó 7% la producción de dicho cultivo.

En otra investigación para el Banco Central de Reserva del Perú, de Paola Vargas (2009) sobre los efectos del cambio climático en la economía peruana encuentra que un aumento de 2°C en la temperatura máxima y 20% en la variabilidad de las precipitaciones al 2050, generaría una pérdida de 6% respecto al PBI potencial en el año 2030, mientras que en el año 2050 estas pérdidas serían superiores al 20%; reduciéndose estas pérdidas a menos de la tercera parte en caso se adopten políticas globales que estabilicen la variables climáticas al 2030.

En un estudio elaborado para la CEPAL (Ordaz, 2010) afirma que “Al alterarse el clima y con ello la producción podría darse una reconfiguración en los cultivos y de esta forma en la intensidad con que se utilicen los suelos, por ello en este trabajo también se analizan los posibles efectos sobre el valor de la tierra,” por ello examina los efectos negativos de cambios climáticos en la producción de maíz, frejol y café donde encuentra que es muy probable que ya se hayan rebasado las temperaturas que permitan alcanzar los mayores rendimientos generando pérdidas económicas y que es muy probable que en el futuro si se continúa con el incremento de la temperatura también se incrementen dichas pérdidas. Una de sus conclusiones más importantes es de que se implementen medidas de adaptación por parte de los agricultores y de los hacedores de la política agraria.

En el presente estudio se utilizó el método de la función de producción bajo el enfoque estructural para lograr estimar los principales cultivos de la región Piura observando el impacto que tienen a los cambios bruscos de la temperatura, para ello se plantearon las siguientes preguntas de investigación ¿Cuáles son los efectos del cambio climático en la producción y rendimientos de los cultivos agrícolas?, ¿Cuál es la variable climática que más influye en cada cultivo estudiado de la región Piura.

Efectos biológicos del cambio climático en los rendimientos

Según el Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias (2009), dedujo que el incremento de temperaturas y el cambio en las precipitaciones pluviales tienen efectos directos en el rendimiento de los cultivos y efectos indirectos mediante los cambios en la disponibilidad de agua para el riego.

El rendimiento para cultivos de secano y bajo de riesgos en países desarrollados y emergentes con o sin consideración del efecto de fertilización por CO₂ simulando la producción de cada cultivo a intervalos de 0.5 grados dando como resultado que en el rendimiento de cultivos de secano son incitados por los cambios en las precipitaciones pluviales y la temperatura; en cambio los efectos en el rendimiento de cultivos de riego solo son incitados por el cambio en el clima.

Temperaturas críticas y óptimas del cultivo

Según el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (2010), puntualiza que los cultivos tienen ciertas temperaturas cardinales que generalmente incluyen a la temperatura mínima que representa al clima más bajo, la óptima es cuando la temperatura da el máximo crecimiento de la planta en tanto la temperatura máxima es el límite para que un cultivo se desarrolle.

La Organización de Naciones Unidas (UNIDAS, 2019) con respecto al cambio climático afirma "Nos encontramos en un momento decisivo para afrontar con éxito el mayor desafío de nuestro tiempo: el cambio climático. Cada día, en diferentes puntos de la geografía mundial, el planeta nos manda mensajes sobre las enormes transformaciones que está sufriendo: desde cambiantes pautas meteorológicas que amenazan la producción de alimentos; hasta el aumento del nivel del mar que incrementa el riesgo de inundaciones catastróficas. Los efectos del cambio climático nos afectan a todos. Si no se toman medidas drásticas

desde ya, será mucho más difícil y costoso adaptarse a sus efectos en el futuro”

Se utilizaron 6 modelos con la finalidad de seleccionar las variables que le den más impacto a la producción y rendimiento de cada uno de los cultivos seleccionados, acogiendo el criterio de menor Akaike (AK) y menor Schwarz (SCH).

Producción y rendimiento del cacao

Para el caso de la producción el mejor modelo es el cuatro donde la precipitación pluvial desincentiva la producción de cacao, pero la temperatura máxima parece incentivar el dicho cultivo. Para la significancia estadística individual nos arroja que la superficie es significativa al 99% y la precipitación pluvial al 90%.

Las variables independientes explican en un 80% a la variable dependiente donde hay una correlación muy fuerte y positiva en tanto para el caso del rendimiento de cacao el mejor modelo es el uno, ya que el valor del akaike (AK) es de 562.23 y el Schwarz (SCH) es de

574.23 siendo el más bajo, la temperatura mínima influye positivamente en el rendimiento del cacao, mientras que la temperatura máxima y precipitación pluvial influyen negativamente. Aunque las variables son estadísticamente no significativas debido a las variables independientes que en términos lineales están altamente correlacionados con las mismas variables, pero en términos cuadráticos, no obstante, es importante incluir en el modelo los cuadrados con el fin de encontrar los efectos no lineales.

Según Normando Salvador (2012), en un estudio para la Dirección Regional Agraria de Piura refleja que los factores climáticos tanto la temperatura como la precipitación pluvial

afectan los procesos fisiológicos de la planta como la nutrición, la floración, y la fructificación.

La producción de cacao requiere una precipitación pluvial de 1600 a 2500 mm en la región Piura, también requiere como mínimo una temperatura de 23° y una temperatura máxima de 32° mientras que su temperatura óptima es de 25°.

El gráfico N°01 en forma general nos indica el nivel de producción óptima cuando las variables climáticas han alcanzado el umbral óptimo.

Producción

$$Q_{cacao} = -22953 + 0.671Scacao + 1445tmax - 22.68tmax^2 - 0.408precip + 0.000186precip^2$$

Temperatura máxima de producción

$$\frac{Q_{cacao}}{\partial tmax} = 1445 - 45.36tmax$$

$$0 = 1445 - 45.36tmax$$

$$tmax = \frac{1445}{45.36} = 31.856$$

Precipitación de producción

$$\frac{Q_{cacao}}{\partial precip} = -0.408 + 0.000372precip$$

$$0 = -0.408 + 0.000372precip$$

$$precip = \frac{0.408}{0.000372} = 1096.77$$

Tanto para la producción como para el rendimiento de Kg por hectárea del limón se consideró el modelo 5, ya que tiene el menor AK y SCH lo que eso indica que hay mayor robustez en la estimación, Para el caso de la producción del limón analizando los parámetros se dio que la precipitación pluvial y la temperatura máxima tienen un impacto negativo en la producción del limón. Analizando R² hay una correlación fuerte y positiva debido a que las variables independientes explican en un 77% a la variable dependiente.

En tanto para el rendimiento del limón este disminuye cuando aumenta la precipitación pluvial y también cuando incrementa la temperatura máxima (de la misma manera que en el resultado anterior), en tanto en el modelo estimado no hay significancia estadística ya que se ve afectado por las variables cuadráticas que están altamente relacionadas con las lineales, el coeficiente de correlación es muy bajo y positivo debido a que las variables independientes explican en un 18% a la variable dependiente, esto genera presencia de multicolinealidad que nos arroja ineficiencia en las variables cuadráticas pero no las eliminamos para poder encontrar los efectos no lineales.

En un estudio elaborado por Méndez (2016), detalló que la temperatura es un factor limitante para el cultivo donde las temperaturas favorables oscilan entre 25° la mínima y la máxima 30°C, en tanto la precipitación pluvial es preferible que sea de 400 a 1200 mm Anuales, calculando las derivadas parciales de las variables que más impacto

tienen en la producción de limón se presentan los siguientes resultados:

Producción

$$QL = 8612 + 1062Slimon - 107.8precip + 0.0441precip^2 - 562270tmax + 9186tmax^2$$

Precipitación de producción

$$\frac{QL}{\partial precip} = -107.8 + 0.0882precip$$

$$0 = -107.8 + 0.0882precip$$

$$precip = \frac{107.8}{0.0882} = 1222.22$$

Temperatura máxima

$$\frac{QL}{\partial tmax} = -562270 + 18372tmax$$

$$0 = -562270 + 18372tmax$$

$$tmax = \frac{562270}{18372} = 30.605$$

La investigación de Méndez (2016), muestra que la temperatura es un factor limitante para el cultivo donde las temperaturas favorables oscilan entre 25° la mínima y la máxima 30°C, en

tanto la precipitación pluvial es preferible que sea de 400 a 1200 mm anuales.

Calculando las derivadas parciales de las variables que más impacto tienen en la producción de limón se presentan los siguientes resultados:

$$\text{Producción } QL = 8612 + 1062Slimon - 107.8precip + 0.0441precip^2 - 562270tmax + 9186tmax^2$$

El 3 para ambas estimaciones ya que ese modelo tiene una mayor robustez y el menor AK y SCH, analizando estos parámetros dio como resultado que la temperatura mínima influye positivamente en la producción de maíz mientras que la precipitación pluvial afecta a la producción, en tanto hay una correlación fuerte y positiva lo que indica que las variables independientes explican en un 93% a la variable dependiente.

Para el rendimiento de Kg por hectárea, se dieron los mismos resultados que en la producción pero con diferentes parámetros, la temperatura mínima es significativa al 95% y la precipitación es no significativa debido a que influye en el modelo en niveles bajos, en tanto hay una correlación baja y positiva lo que indica que las variables independientes explican en un 27% a la dependiente esto indica que hay presencia de multicolinealidad, ya que las estimaciones lineales son similares con las cuadráticas y esto genera que una de las dos variables sea irrelevante, ya que no está aportando información adicional con respecto a la otra pero como se mencionó anteriormente se mantuvieron las variables cuadráticas con la finalidad de encontrar los efectos no lineales.

En un estudio elaborado por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología de la Dirección General de Agro meteorología (2010), especifico que el maíz en tierras altas crece y se desarrolla por temperaturas más bajas que a los cultivos adaptados a las tierras bajas, para ello la temperatura óptima en tierras bajas se adopta entre 30° y 34°C y se considera que para el maíz tropical de tierras altas esta alrededor de 21°C.

Realizando las derivas parciales de la mejor estimación de la producción se obtuvieron los siguientes resultados:

$$Q_{mad} = -440037 + 3.662S_{mad} - 14.17precip + 0.00578precip^2 + 42458t_{min} - 1019t_{min}^2$$

Precipitación de producción

$$\frac{Q_{mad}}{\partial precip} = -14.17 + 0.01156precip$$

$$0 = -14.17 + 0.01156precip$$

$$precip = \frac{14.17}{0.01156} = 1225.77$$

Temperatura mínima

$$Q_{mad} = 42458 - 2038t_{min}$$

$$\partial t_{min}$$

$$0 = 42458 - 2038t_{min}$$

$$t_{min} = \frac{42458}{2038} = 20.83$$

El mejor modelo elegido por los niveles más bajos de AK y SCH es el 1 para ambos casos, analizando los parámetros de la producción indicó que en tanto la superficie, la temperatura mínima y la precipitación influyen positivamente en la producción cosechada de mango en tanto la temperatura máxima influye negativamente, en el modelo las variables superficie, temperatura mínima (lineal y cuadrática), temperatura máxima (lineal y cuadrática) son significativas al 99% en tanto hay una correlación muy fuerte y positiva ya que las variables independientes explican en un 93% a la variable dependiente.

Para el caso del rendimiento de mango, analizando los parámetros nos arroja como resultado que la temperatura mínima y precipitación pluvial tiene un impacto positivo en los rendimientos del mango en tanto la temperatura máxima tiene un impacto decreciente, los parámetros superficie, temperatura mínima (lineal y cuadrática), temperatura máxima (lineal y cuadrática) son significativas al 99%. El R2 indica que las variables independientes explican en un 22% a la variable dependiente.

Según Mauricio Huete (2007) en un estudio para el Programa de Diversificación Económica Rural, sostuvo que las condiciones climáticas ideales de la temperatura son de 22°C y 33°C para su cultivo, aunque el rango ideal es de 700 y 1500mm, el mango se adopta desde los 250mm hasta los 5000mm, también el mango requiere tener épocas lluviosas y secas.

Calculando las derivadas parciales de la estimación de la producción de mango se obtuvieron los siguientes resultados:

$$Qm = 46770000 + 16.7Sm + 1382000tmin - 36667tmin^2 - 3923000tmax + 64327tmax^2 + 26.84precip + 0.0454precip^2$$

Temperatura mínima

$$\frac{Qm}{\partial tmin} = 1382000 - 73334tmin$$

$$0 = 1382000 - 73334tmin$$

$$tmin = \frac{1382000}{73334} = 18.845$$

Temperatura máxima

$$\frac{Qm}{\partial tmax} = 3923000 - 128654tmax$$

$$0 = 3923000 - 128654tmax$$

$$tmax = \frac{3923000}{128654} = 30.49$$

Precipitación

$$\frac{Qm}{\partial precip} = 26.84 - 0.0908precip$$

$$0 = 26.84 - 0.0908precip$$

$$precip = \frac{26.84}{0.0908} = 295.595$$

El mejor modelo escogido para ambos casos es el 3 ya que es el más robusto e indica que la superficie influye positivamente en tanto la temperatura mínima y la precipitación pluvial tiene un impacto negativo en la producción. El coeficiente de determinación señala que hay una correlación muy fuerte y positiva ya que las variables independientes explican en un 96% a la variable dependiente.

Analizando el rendimiento del arroz mediante los parámetros da como resultado que la temperatura mínima influye positivamente y tiene un nivel de significancia estadística individual del 95% en tanto la precipitación influye negativamente en el rendimiento del arroz, el modelo indico que hay una correlación débil y positiva ya que las variables independientes explican en un 37% a la dependiente.

Según la Dirección de ciencia y Tecnología Agropecuaria (2003), agregó que el arroz necesita para germinar una temperatura mínima de de 10° a 13°C, el mínimo de temperatura para florecer de 15°C y el óptimo de 30°C. Las temperaturas críticas son las menores a 20° y las mayores 32° en tanto para la precipitación pluvial optima es de 1200mm ya que es donde el cultivo obtiene buenos rendimientos.

Sacando las derivadas parciales del mejor modelo tenemos los siguientes resultados:

$$Qa = 44.874 + 10.33s - 19929tmin + 677.4tmin^2 - 107.5precip + 0.0428precip^2$$

Temperatura mínima

$$\frac{Qa}{\partial tmin} = -19929 + 1354.8tmin$$

$$0 = -19929 + 1354.8tmin$$

$$tmin = \frac{199.29}{1354.8} = \mathbf{14.709}$$

Precipitación

$$\frac{Qa}{\partial precip} = -107.5 + 0.0856precip$$

$$0 = -107.5 + 0.0856precip$$

$$precip = \frac{107.5}{0.0856} = 1255.84$$

Los umbrales óptimos de las variables climáticas que tienen un mayor impacto positivo en la producción (aumento en TM) o negativo (disminución en TM) por cada cambio del 1% en la variable climática.

De igual forma la tabla 17 contiene un resumen de los umbrales óptimos de las variables climáticas que tienen un mayor impacto positivo en el rendimiento (aumento en Kg/Há) o negativo (disminución en Kg/Há) por cada cambio del 1% en la variable climática.

Los resultados de los análisis nos arrojaron que las variables climáticas y la precipitación tienen efectos tanto en la producción como en los rendimientos de los 5 cultivos en la región Piura y estos modelos los avalaron la bondad de ajustes, ya que hay una explicación entre las variables incluso en más de 50%.

De los resultados concluimos lo siguiente:

Para el caso de la producción y rendimiento del cacao

Para el caso de la producción de cacao, la variable que más impacto tiene en el cultivo es la precipitación pluvial, ya que a medida que se eleva sobrepasando del umbral óptimo que es 1096.77 milímetros, es decir al elevarse en 1mm la precipitación pluvial obtenido mediante las derivadas parciales de la estimación, se llega a la conclusión que la producción aumenta en 0.000186 toneladas de cacao, en tanto para la temperatura máxima si sobrepasa el umbral óptimo que es de 31.856°C se reduce la producción, es decir si la temperatura máxima se incrementa en 1°C la producción de cacao se reduce en 22.68 toneladas.

Para el caso del rendimiento de cacao, todas las variables climáticas tienen impacto en el cultivo, llegando a la conclusión que la temperatura mínima alcanzando su umbral óptimo que es de 16.0947 el rendimiento disminuye, es decir si la temperatura mínima se reduce en 1°C el rendimiento de cacao tiene una tendencia decreciente en 26.17 Kg/hectáreas, para la temperatura máxima su óptimo es de 28.249°C en tanto si la temperatura máxima incrementa en 1°C el rendimiento de cacao se incrementa en 46.62 Kg/hectárea, para la

precipitación su umbral óptimo es de 20.2016mm, si incrementa en 1mm la precipitación pluvial el rendimiento de cacao incrementa en 0.000124 Kg/hectáreas, también se concluye que siendo las variables muy similares debido a la lineal y cuadrática genera multicolinealidad y esto hace que la estimación tenga presencia de variables colineales y genera que la regresión sea imprecisa o ineficiente donde pueden los coeficientes tener signos opuestos a los encontrados.

Para el caso de la producción y rendimiento del limón

Para el caso de la producción de limón, la variable que más impacto tiene en el cultivo es la temperatura máxima y la precipitación pluvial, para la temperatura máxima a medida que se eleva sobrepasando del umbral óptimo que es de 30.605°C la producción aumenta, es decir al elevarse en 1°C la temperatura máxima se llega a la conclusión que la producción aumenta en 9186 toneladas de limón, en tanto para la precipitación pluvial si sobrepasa el umbral óptimo que es de 1222.22mm se incrementa la producción, es decir si la precipitación pluvial se incrementa en 1mm la producción de limón aumenta en 0.0441 toneladas.

Para el caso del rendimiento de limón, son las mismas variables climáticas que tienen impacto en el cultivo llegando a la conclusión que la temperatura máxima una vez alcanzado su umbral óptimo que es de 30.81 el rendimiento aumenta, es decir si la temperatura máxima incrementa en 1°C el rendimiento de limón tiene una tendencia creciente en 685.4 Kg/hectáreas, para la precipitación su umbral óptimo es de 2109.375mm, es

decir si la precipitación pluvial se incrementa en 1mm el rendimiento de limón se incrementa en 0.00112 Kg/hectáreas.

Para el caso de la producción y rendimiento del maíz amarillo duro

Para el caso de la producción de maíz amarillo duro, las variables que más impacto tiene en el cultivo es la temperatura mínima y la precipitación pluvial, para la temperatura mínima a medida que sobrepasa el umbral óptimo que es de 20.83 °C la producción disminuye, es decir al disminuir 1°C la temperatura mínima se llega a la conclusión que la producción disminuye en 1019 toneladas de maíz amarillo duro, en tanto para la precipitación pluvial si sobrepasa el umbral óptimo que es de 1225.77mm se incrementa la producción, es decir si la precipitación pluvial se incrementa en 1mm la producción de maíz amarillo duro aumenta en 0.00578 toneladas.

Para el caso del rendimiento de maíz amarillo duro, son las mismas variables climáticas que tienen impacto en el cultivo llegando a la conclusión que la temperatura mínima una vez alcanzado su umbral óptimo que es de 20.525°C el rendimiento disminuye, es decir si la temperatura mínima se incrementa en 1°C el rendimiento de maíz tiene una tendencia decreciente de 131.3 Kg/hectáreas, para la precipitación su umbral óptimo es de 1366.5338mm, es decir si la precipitación pluvial se incrementa en 1mm el rendimiento de maíz amarillo duro se incrementa en 0.000251 Kg/hectáreas

Para el caso de la producción y rendimiento del mango

Para el caso de la producción de mango, todas las variables climáticas tienen impacto en la producción del cultivo, para la temperatura mínima sobrepasando del umbral óptimo que es 18.845°C su producción disminuye, es decir al disminuir en 1°C la temperatura mínima sacado mediante las derivadas parciales de la estimación, se llega a la conclusión que la producción disminuye en 36667 toneladas de mango, en tanto para la temperatura máxima si sobrepasa el umbral óptimo que es de 30.49°C incrementa la producción, es decir si la temperatura máxima se incrementa en 1°C la producción de mango incrementa en 64327 toneladas, para la precipitación su umbral óptimo es de 295.595mm, si incrementa en 1mm la precipitación pluvial la producción de mango se incrementa en 0.0454 toneladas.

Para el caso del rendimiento de mango, todas las variables climáticas tienen impacto en el cultivo, llegando a la conclusión que la temperatura mínima alcanzando su umbral óptimo que es de 19.232°C , el rendimiento disminuye, es decir si la temperatura mínima se reduce en 1°C el rendimiento de mango tiene una tendencia decreciente en 3125 Kg/hectáreas, para la temperatura máxima su óptimo es de 30.68°C en tanto si la temperatura máxima incrementa en 1°C el rendimiento de mango se incrementa en 4836 Kg/hectárea, para la precipitación su umbral óptimo es de 83.21, si incrementa en 1mm la precipitación pluvial el rendimiento de mango incrementa en 0.00289 Kg/hectáreas.

Para el caso de la producción y rendimiento del arroz

Para el caso de la producción de arroz, las variables climáticas que tienen más impacto son la temperatura mínima y la precipitación pluvial, para la temperatura mínima sobrepasando del umbral óptimo que es 14.709°C su producción aumenta, es decir al disminuir en 1°C la temperatura mínima calculando las derivadas parciales de la estimación, se llega a la conclusión que la producción aumenta en 677.4 toneladas, este puede ser un parámetro impreciso debido a que no hay significancia estadística, para la precipitación su umbral óptimo es de 1255.84mm, si incrementa en 1mm la precipitación pluvial la producción de arroz se incrementa en 0.0428 toneladas

Para el caso del rendimiento de arroz, son las mismas variables de la producción de arroz que tienen impacto en el cultivo, llegando a la conclusión que la temperatura mínima alcanzando su umbral óptimo que es de 21.0298°C , el rendimiento disminuye, es decir si la temperatura mínima se reduce en 1°C el rendimiento de arroz tiene una tendencia decreciente en 399.1 Kg/hectáreas, para la precipitación puede ser un parámetro impreciso debido a que no hay significancia estadística y presenta indicios de multicolinealidad por lo que no se consideró analizar el parámetro ya que los márgenes de error son altos.

Referencias

- BANCO CENTRAL DE RESERVA DEL PERÚ SUCURSAL PIURA. (s.f.). CARACTERIZACIÓN DEL DEPARTAMENTO DE PIURA. PIURA. Obtenido de <https://www.bcrp.gob.pe/docs/Sucursales/Piura/piura-caracterizacion.pdf>
- BANCO CENTRAL DE RESERVA DEL PERÚ (2009) EL CAMBIO CLIMATICO Y SUS EFECTOS EN EL PERÚ. Obtenido de: <http://sial.segat.gob.pe/sites/default/files/archivos/public/docs/388.pdf>
- Belisario, Q. (2015). EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA AGRICULTURA DE LA CUENCA RAMIS PUNO-PERÚ. Obtenido de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5157125>
- Ramos, R. (2013). IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LA AGROINDUSTRIA EXPORTADORA PERUANA. Obtenido de: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/32647384/Impacto_del_Cambio_Climatico_sobre_la_agroindustria_exportadora_peruana-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1
- Castilla, L. T. (2010). ANÁLISIS ECONÓMICO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA AGRICULTURA DE LA REGIÓN PIURA. Piura. Obtenido de http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/F7318DCAC0622C1705257F

700075B09A/\$FILE/Análisis_economico_del_cambio
_climatico_en_la_agricultura_de_regi on_piura.pdf

Choque, F. C. (2016). Efectos del cambio climático en la producción y rendimiento de la quinua en el distrito de Juli, periodo 1997 - 2014. *Comunicación*, 10. Obtenido de <http://www.scielo.org.pe/pdf/comunica/v7n2/a04v7n2.pdf>

Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2010). PANAMÁ EFECTOS DEL CAMBIO CLIMATICO. MEXICO: Impreso en Naciones Unidas • México, D. F. Obtenido de <https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/25926/1/lcmexl971.pdf>

DAVID BRAVO, J. V. (2008). MICROECONOMETRÍA APLICADA (Vol. 253). Chile.

Dirección de ciencia y Tecnología Agropecuaria. (2003). MANUAL TÉCNICO PARA EL CULTIVO DEL ARROZ. Comayagua, Honduras. Obtenido de <https://curlacavunah.files.wordpress.com/2010/04/el-cultivo-del-arroz.pdf>

Fleischer A, I. L. (2007). Climate Change, Irrigation, and Israeli Agriculture:. No. 4135, Banco Mundial. Obtenido de <http://documents.worldbank.org/curated/en/876511468253247183/pdf/wps4135.pdf>

INSTITUTO INTERNACIONAL DE INVESTIGACION
SOBRE POLITICAS ALIMENTARIAS. (2009). CAMBIO
CLIMATICO. Washington, D.C.

Roger Loyola & Carlos Orihuela (2010). EL COSTO
ECONÓMICO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA
AGRICULTURA PERUANA: EL CASO DE LA REGION
PIURA Y LAMBAYEQUE. Obtenido de:
[https://cies.org.pe/sites/default/files/investigaciones
/el_costo_economico_del_cambio_climatico_en_la_a
gricoltura_peruana.pdf](https://cies.org.pe/sites/default/files/investigaciones/el_costo_economico_del_cambio_climatico_en_la_agricultura_peruana.pdf)

MAURICIO HUETE, S. A. (2007). MANUAL PARA LA
PRODUCCIÓN DE MANGO. Obtenido de
[http://www.agrolalibertad.gob.pe/sites/default/files/
Manual_Producc_Mango.pdf](http://www.agrolalibertad.gob.pe/sites/default/files/Manual_Producc_Mango.pdf)

MENDEZ, M. S. (2016). LA SUSTENTABILIDAD DEL
CULTIVO DEL LIMÓN. Lima: UNIVERSIDAD
NACIONAL AGRARIA LA MOLINA.

Ministerio de Agricultura y Riego. (s.f.). region Piura. piura.
Obtenido de
[http://minagri.gob.pe/portal//download/pdf/herrami
entas/organizaciones/dgpa/docume
ntos/estudio_cacao/4_3_3piura_informe_final.pdf](http://minagri.gob.pe/portal//download/pdf/herramientas/organizaciones/dgpa/documentos/estudio_cacao/4_3_3piura_informe_final.pdf)

Normando Salvador, E. E. (2012). Manual del cultivo de
cacao blanco en Piura. Piura: Primera edición Piura,
Perú, setiembre 2012 Hecho el depósito legal en la
Biblioteca Nacional del Perú. Obtenido de
[http://infocafes.com/portal/wp-
content/uploads/2016/04/Manual-de- cacao-
24.09.pdf](http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2016/04/Manual-de-cacao-24.09.pdf)

Ordaz, J. L. (5 de Setiembre de 2010). COSTA RICA EFECTOS DEL CAMBIO CLIMATICO EN LA AGRICULTURA. Obtenido de COSTA RICA EFECTOS DEL CAMBIO CLIMATICO EN LA AGRICULTURA:

file:///C:/Users/UNF/Documents/CAMBIO%20CLIMATICO%20EN%20COSTA%20RICA.pdf

Quispe, J. T. (2015). Producción agrícola alimentaria y cambio climático: un análisis económico en el departamento de Puno, Perú. Idesia, 17.

Romero, C. E. (2014). "EFECTO ECONÓMICO DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LOS CULTIVOS PERMANENTES DE LA AGRICULTURA PERUANA: PERIODO 2011-2050. lima. Obtenido de

<https://www.cies.org.pe/sites/default/files/investigaciones/informefinalcc.pdf>

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, Dirección General de Agrometeorología. (2010). Evaluación del efecto del clima en la producción y productividad del maíz amarillo duro en la costa central del Perú. Lima.

Ulises Vegas Rodríguez, M. N. (2011). MANEJO INTEGRADO DEL CULTIVO DE LIMON. CIENEGUILLO, SULLANA, PIURA.

UNIDAS, O. D. (23 de Setiembre de 2019). CUMBRE SOBRE LA ACCION CLIMATICA 2019. Obtenido de CUMBRE SOBRE LA ACCION CLIMATICA 2019: <https://www.un.org/es/global-issues/climate-change>



Mario Villegas Yarlequé

UNIVERSIDAD NACIONAL DE FRONTERA

<https://orcid.org/0000-0001-5572-1372> mvillegas@unf.edu.pe

Economista por la Universidad nacional de Piura con maestría en Ciencias de la Educación Superior. Investigador en la línea de Población y Desarrollo Sostenible. Docente asociado a tiempo completo en la Facultad de Ciencias Económicas y Ambientales de la Universidad Nacional de Frontera.

Gretel Fiorella Villegas Aguilar

Universidad Nacional de Frontera

<https://orcid.org/0000-0001-8145-1003>

g.villegas@unf.edu.pe

Docente mentor interesada en desarrollar nuevos modelos de negocios sostenibles enfocados en solucionar problemas sociales. Actualmente docente universitario y mentor voluntario en Hult Prize Perú, estudiante del programa de doctorado en educación de la Universidad Nacional de Piura. Grado de Magister con mención en Docencia Universitaria e Investigación Pedagógica. Licenciada en Administración de empresas. Estudios de especialización en creación de nuevos modelos de negocios. Experiencia laboral en el área administrativa de reconocidas marcas como Adidas Group, Primax, Manpower Group, entre otras.



Lucy Mariella García Vilela

Universidad Nacional de Frontera

<https://orcid.org/0000-0003-1123-0664>

lgarcia@unf.edu.pe

Economista de la Universidad Nacional de Piura, Magíster en Gerencia Social por la Pontificia Universidad Católica del Perú. Experiencia y capacidad de gestión y ejecución de proyectos socio económicos en instituciones públicas y privadas. En los últimos años dedicada a la docencia universitaria especialmente en temas de investigación científica, que complementa con la actividad empresarial como consultora.

Marcos Timaná Álvarez

UNIVERSIDAD NACIONAL DE FRONTERA

<https://orcid.org/0000-0002-4222-7372>

mtimana@unf.edu.pe

Economista, Magister en Ciencias Económicas con mención en Proyectos de Inversión. Docente Investigador Renacyt María Rostorowsky II, Docente Asociado a Tiempo Completo en la Facultad de Ciencias Económicas y Ambientales de la Universidad Nacional de Frontera, consultor y asesor en gestión pública.



Jannyna Reto Gómez

UNIVERSIDAD NACIONAL DE FRONTERA

<https://orcid.org/0000-0002-6355-1614>

jreto@unf.edu.pe

Contadora Pública de la Universidad Nacional de Piura, Licenciada en educación de la Universidad Nacional Pedro Ruíz Gallo, con especialidad en matemáticas y computación, con una Maestría mención en Docencia, currículum e investigación. Experiencia profesional en el área administrativa contable en empresas del sector privado. En los últimos trece (13) años de mi línea de vida, dedicada a la docencia universitaria especialmente en asignaturas como: contabilidad, auditoría y tributación, que complementa mis actividades realizadas como profesional contable.

Marlon Martín Mogollón Taboada

Universidad Nacional de Frontera

<http://orcid.org/0000-0002-5418-9166> mmogollon@unf.edu.pe

Contador Público Colegiado, egresado de la Universidad Nacional de Piura. Magister en Investigación y Docencia por la Universidad Nacional Pedro Ruíz Gallo de Lambayeque. Actualmente cursa estudios del sexto ciclo del Doctorado con mención en "Contabilidad y Finanzas" en la Universidad Nacional de Piura. Registrado como investigador en el Registro Nacional Científico, Tecnológico y de Innovación Tecnológica RENACYT con filiación a UNF, con código de registro P0083524, grupo María Rostworowski, nivel I.





ISBN: 978-9942-603-12-8

