



DOI:https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i6.3900

Zonificación agroecológica del cultivo de maíz (*Zea mays*) y su adaptabilidad a posibles cambios climáticos en el cantón Buena Fe, provincia de Los Ríos

Milena Julissa Aviles Penafiel

milena.aviles2017@uteq.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-4038-6871>

Universidad Técnica Estatal de Quevedo
Quevedo - Ecuador

Yomber Jose Montilla Lopez

ymontillal@uteq.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-8592-248X>

Universidad Técnica Estatal de Quevedo
Quevedo - Ecuador

Carlos Alberto Nieto Cañarte

cnieto@uteq.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0003-1817-9742>

Universidad Técnica Estatal de Quevedo
Quevedo - Ecuador

Franklin Ernesto Yunda Alvarez

franklin.yunda2016@uteq.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-7588-8230>

Universidad Técnica Estatal de Quevedo
Quevedo - Ecuador

RESUMEN

El trabajo de investigación tiene un enfoque en los efectos de la variabilidad climática en la agricultura de los cambios en los rendimientos de los cultivos, en especial del maíz, en el cual a través de un estudio de zonificación agroclimática nos permite conocer las zonas más idóneas donde el cultivo se ha desarrollado de manera eficiente, por lo que analizamos Zonas agroecológicas del maíz y su adaptabilidad a posibles escenarios de cambio climático en zonas rurales del cantón Buena Fe, utilizando método inductivo para la estimación de datos de clima futuro obtenidos en WorldClim.

Se realizó una investigación no experimental, siendo un diseño transversal donde se analizaron las variables climáticas que influyen en la adaptabilidad del maíz, por lo tanto, se describieron y exploraron diferentes software o programas para el diseño de mapas. En el que se muestra la percepción ciudadana de los agricultores, relacionada con el rendimiento del maíz en un periodo 2016-2021. Se mostraron las áreas ideales con proyección futura de acuerdo a las variables estimadas en un periodo 2061-2080 y 2081-2100, por lo tanto, muestra las estrategias identificadas para la adaptación del cultivo de maíz a los cambios climáticos.

Palabras clave: *Variabilidad climática; Zonificación agroecológica; Adaptabilidad*

Correspondencia: milena.aviles2017@uteq.edu.ec

Artículo recibido: 5 octubre 2022. Aceptado para publicación: 5 noviembre 2022.

Conflictos de Interés: Ninguna que declarar

Todo el contenido de **Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar**, publicados en este sitio están disponibles bajo

Licencia [Creative Commons](#) 

Como citar Avilés Penafiel, M. J., Montilla López, Y. J., Nieto Cañarte, C. A., & Yunda Álvarez, F. E. (2022). Zonificación agroecológica del cultivo de maíz (*Zea mays*) y su adaptabilidad a posibles cambios climáticos en el cantón Buena Fe, provincia de Los Ríos. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(6), 6484-6501. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i6.3900

Agroecological zoning of the corn crop (*Zea mays*) and its adaptability to possible climatic changes in the Buena Fe canton, Los Ríos province

ABSTRACT

The research work has a focus on the effects of climate variability on agriculture of changes in crop yields, especially corn, in which through a study of agroclimatic zoning allows us to know the most suitable areas where the crop has been developed efficiently, so we analyze agroecological zones of corn and its adaptability to possible climate change scenarios in rural areas of Buena Fe canton, using inductive method for the estimation of future climate data obtained in Worldclim.

A non-experimental investigation was carried out, being a cross-sectional design where the climatic variables that influence the adaptability of maize were analyzed, therefore, different software or programs for map design were described and explored. In which the citizen perception of farmers is shown, related to the yield of corn in a period 2016-2021. The ideal areas with future projection were shown according to the estimated variables in a period 2061-2080 and 2081-2100, therefore, it shows the strategies identified for the adaptation of the corn crop to climate changes.

Keywords: *Climate variability; Agroecological zoning; Adaptability.*

INTRODUCCIÓN

El cambio climático afecta la producción de cultivos de maíz, por la inestabilidad de las variables climáticas como; temperatura, precipitación, concentración de dióxido de carbono, radiación solar, etc. El impacto significativo en la fenología de los cultivos, el rendimiento y puede inducir cambios en las prácticas actuales de gestión agrícola, como el riego, el uso de fertilizantes y la fecha de siembra (Subba Rao et al., 2022). El sector agrícola y de producción consideran los propósitos sociales, ecológicos y económicos en un contexto climático y socioeconómico cambiante que deberían desarrollarse de manera equilibrada para disminuir impactos ante la variabilidad climática (Dubois et al., 2020)

La agricultura se ha visto afectada negativamente en los últimos años debido a las condiciones ambientales actuales, lo cual en muchos de los casos se ha visto perjudicada en el desarrollo de los cultivos (Georgakopoulos et al., 2016). Por ello se reconoce la importancia de la inestabilidad climática que dado a su magnitud y efecto generan impactos en la producción como en el rendimiento agrícola (Osborne & Wheeler, 2013), el cambio climático en países de Sudamérica genera aumento en su temperatura local, generando escasez de agua y provocando la pérdida de importantes cultivos (Lozano-Povis et al., 2021).

EL rendimiento del maíz en el Ecuador ha disminuido en su producción debido a los cambios desfavorables del clima, viéndose implicados por las variables de tendencias de temperatura máxima, temperatura mínima, precipitación, velocidad del viento y radiación solar que determinan la rentabilidad productiva (Lopez et al., 2021). La variabilidad climática en estas zonas son una seria preocupación dado que el rendimiento de los cultivos transitorios ya ha disminuido en las últimas tres décadas entre un 2,5 y un 3,8 % a nivel mundial debido al cambio climático (Islam et al., 2012).

En el cantón Buena Fe el cambio climático afecta a los agroecosistemas debido a las variaciones en temperatura y precipitación que altera la aptitud agroecológica para los cultivos, estas alteraciones traen como consecuencia cambios agroecológicos en el territorio, lo cual implicaría la posible aparición de nuevos cultivos y la reducción o pérdida de cultivos presentes (Enríquez Imbaquingo & Morales Rueda, 2019). Mediante la presente investigación se propone la implementación de un programa ambiental en las áreas rurales del cantón en estudio, por ende, se identificarán zonas agroecológicas con característica adaptativa donde cultivos como el maíz estén aptos ante la variación climática.

METODOLOGÍA

La presente investigación será desarrollada en las áreas rurales del cantón Buena Fe, provincia Los Ríos, cuyas limitantes son norte con el cantón Santo Domingo, sur con el Cantón Quevedo y el empalme, este con Valencia y oeste con el cantón el Carmen.

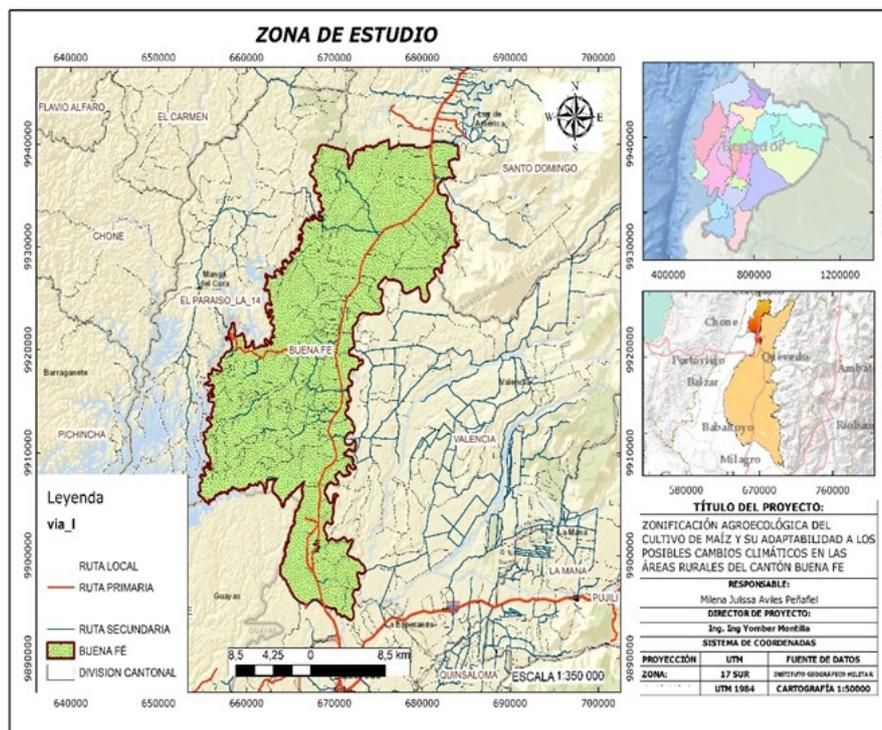


Figura 1. Área de estudio del cantón Buena Fe

En primera instancia las fases metodológicas consistieron en describir mediante una encuesta hacia la percepción ciudadana de la zona de estudio, mediante este tipo de herramienta se determinar el impacto de la variabilidad climática durante el ciclo del maíz. En la segunda fase se elaborará un diagnóstico por medio de un análisis de las

encuestas agropecuarias donde se obtendrá el rendimiento del cultivo en diferentes lapsos de tiempos (Reyes Anistro et al., 2018).

Para analizar el impacto del cambio climático en este cultivo se recabó información sobre la variabilidad del clima como ha afectado durante un tiempo promedio hasta la actualidad mediante la base de datos que se encuentra en el ESPAC (encuesta de superficie y producción agropecuaria continua) analizando consigo las variables climáticas como pérdida por inundación, sequía y temporada helada que determinan parte del rendimiento que se obtuvo en cada temporada acompañadas de las variables como: la cantidad de superficie sembrada, cantidad de producción por hectáreas y la cantidad de ventas en el cual se obtuvo el porcentaje de producción por años lo que permitirá conocer la adaptación del maíz en la superficie del cantón Buena Fe (Patricia, 2011).

Diseño de mapas de las zonas agroecológicas adaptables a diferentes escenarios del cambio.

Lo realizado para alcanzar este objetivo fue identificar las zonas aptas para el desarrollo del cultivo del maíz partiendo desde la zonificación agroecológica actual, luego se proyectó las posibles zonas con alta eficiencia para el cultivo del maíz en los años analizados desde el 2041- 2060 y del 2081- 2100 en diferentes escenarios planteados por el IPCC. Pasos del proceso de la zonificación agroecológica del cultivo de maíz.

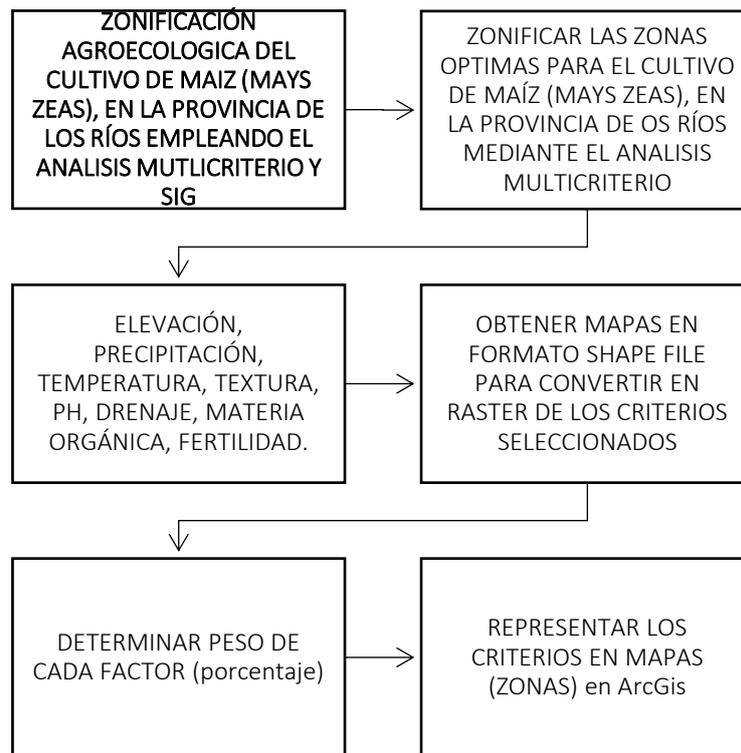


Figura 2. Procedimiento generalizado para análisis multicriterio en un SIG

Las variables climáticas de Worldclim se proyectaron a escenarios del futuro, permitiendo la descarga de variables climáticas, a diferentes resoluciones espaciales y disponiendo de capas de archivos raster del SIG con información sobre las condiciones climáticas en el futuro. Para generar estas capas combinan información sobre cambio climático proveniente de modelos de circulación global, y su capa para el presente (proveniente de una interpolación). Esto significa que están mezclando dos tipos modelos climáticos diferente para generar del futuro (Varela et al., 2015).

También se determinó qué tipo de escenario ocurren en el cantón Buena Fe, si es el SSP1 representará un mundo que apunta al crecimiento verde (desarrollo sostenible). Aunque la política climática no se implementa en el escenario de referencia SSP1, los desarrollos del escenario con respecto a la tecnología y la gobernanza implican que la adaptación y mitigación al cambio climático es relativamente fácil. (van Vuuren et al., 2017).

Tabla 1. Descripción de cada de una de las variables que integran el modelo ssp1

Condiciones	SSP1
Crecimiento económico	Alto
Crecimiento de la población	Bajo
Gobernanza e instituciones	Eficaz tanto a nivel nacional como internacional.
Tecnología	Rápido, traducido, por ejemplo, en supuestos de eficiencia, tecnologías renovables y rendimientos
Preferencias de consumo/producción	Promoción del desarrollo sostenible (menor consumo – ver más adelante)
<i>Demanda de energía</i>	
Transporte	Menor proporción de los ingresos gastados en transporte, lo que conduce a menos kilómetros recorridos.
Edificios	Los cambios de comportamiento conducen a una menor demanda general de servicios energéticos
No energético	Baja intensidad
<i>Agricultura y uso de la tierra</i>	
Regulación del cambio de uso del suelo	Fuerte – Las áreas protegidas se amplían para alcanzar la meta de Aichi del 17 %.
Productividad agrícola (cultivos)	Fuerte: aumento del rendimiento de los cultivos.
Impacto ambiental del consumo de alimentos	Bajo: consumo de productos animales un 30 %.
<i>Contaminación del aire</i>	
Factores de emisión	Bajo

Tabla 2. Descripción de cada de una de las variables que integran el modelo ssp5

VARIABLES	SPP5
Indicador	Desarrollo impulsado por combustibles fósiles
	Demografía
Crecimiento de la población	Baja (fecundidad alta en los países de ingresos altos)
Migración	Alto
	Economía y estilo de vida
Crecimiento del PIB (per cápita)	Alto
Desigualdad	Fuertemente reducido
Globalización	Fuerte
Consumo	Materialismo, Consumo de estatus, Alta movilidad
	Tecnología
Desarrollo	Rápido
Cambio de tecnología energética	Dirigido a los combustibles fósiles; fuentes alternativas no buscadas activamente
	Medio ambiente y recursos
Uso del suelo	Las regulaciones medias conducen a una lenta disminución de la tasa de deforestación
Agricultura	Rápido aumento de la productividad
	Políticas e instituciones
Política medioambiental (y energética)	Centrarse en el entorno local, poca preocupación por los problemas globales

Pesos de variables para la modelación de la zonificación agroecológica.

Mediante una entrevista establecida con un experto se determinaron de manera superficial las condiciones del suelo y los pesos fueron establecidos de acuerdo las variables categorizadas en la planificación agroecológica actual del Ecuador, donde se

estimaron los siguientes requerimientos para la correspondiente modelación de escenarios del cambio climático en diferentes periodos, lo cual simula según los cambios en las condiciones climáticas una simulación para el cantón Buena Fe.

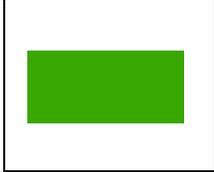
Tabla 3. Variables de zonificación agroecológica.

Componente	Parámetro	Pesos
Agroclimáticos	Temperatura (°C)	10
	Precipitación (mm)	10
	Elevación	8
Biofísicos	Pendiente (%)	7
	Textura superficial del suelo	10
	Profundidad (cm)	12
	pH del suelo	11
	Drenaje natural	10
	Materia orgánica del suelo	10
	Nivel de fertilidad	12

Simbolización de la zona agroecológica

Consigno se puede denotar las categorías que determinan la capacidad de las zonas que se identificaron mediante la simulación para los periodos establecidos, a continuación, las etiquetas para cada grado de actitud.

Tabla 4. Simbolización de zonificación agroecológica.

ETIQUETAS ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA DEL CULTIVO DE MAÍZ PROYECTADOS DATOS CLIMATICOS		
SÍMBOLO	GRADO DE APTITUD	DESCRIPCIÓN
	Óptima	Áreas en donde las condiciones naturales de suelo, relieve y clima presentan las mejores características para el establecimiento del cultivo.
	Moderada	Áreas en donde las condiciones naturales de suelo, relieve y de clima presentan limitaciones ligeras y pueden ser mejoradas con prácticas de manejo adecuadas.
	Marginal	Áreas que presentan limitaciones importantes de suelo, relieve y clima, lo cual impide el establecimiento y desarrollo normal del cultivo en condiciones naturales.
	No apta	Áreas en donde no se puede establecer el cultivo en condiciones naturales.

Nota: se excluyeron las áreas que tienen como principal objetivo la protección y conservación como: bosque y vegetación protectora, patrimonio forestal, patrimonio de áreas naturales del estado, bosque nativo, zona intangible, zona de amortiguamiento Yasuní y zonas sobre la cota de los 3600 m.s.n.m.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De las variables obtenidas para determinar la zonificación agroecológica se determinaron las principales con respecto al área es decir el suelo donde se produce el cultivo de maíz y correspondiente al clima la cuales son las pioneras, ya que de ellas dependen el cambio en las demás variables, para ello se obtuvieron los siguientes mapas expresados en diferentes periodos.

Zonificación agroecológica del cultivo de maíz para el periodo del 2041 hasta el 2060 en escenario SSP1.

La simulación para el año 2041-2060 se puede observar que la mayor parte de las zonas cultivables están de color verde representado por 18.308 ha indicándose que son aptas para el desarrollo del cultivo de maíz, cumpliendo con las condiciones del suelo y siendo favorables hacia los cambios del clima para su producción, mientras que se puede observar que 10.856 ha siendo representado por el color amarillo correspondiente a un grado de aptitud moderado, donde aún son áreas aptas para cultivar, y las afectaciones por el clima serán más ligeras dadas a sus requerimientos agroecológicos, consigo también se encuentran las zonas no aptas la cual no es recomendado sembrar ya que no presenta los suficientes requerimientos para poder solventar al cultivo, en tal caso al sembrar dentro del área el cultivo podría presentar enfermedades, plagas, problemas de crecimientos, entre otros, representado por 2500 ha.

Se puede observar que existen zonas excluidas dado que son zonas de protección o conservación, la cual pertenecen como patrimonio natural o vegetal la cual no se cuentan dentro del estudio, por ende dentro de esta simulación generadas en el escenario SSP1 son zonas se denota que las variables climáticas no afectarían en su totalidad, considerándose el 72% como óptimas teniendo en cuenta el manejo agrícola y las estrategias aplicables para el desarrollo del cultivo de maíz, tomando en cuenta que es un cultivo corto y que el tiempo para la adaptación depende eficazmente de los requerimientos del suelo y su relación con el clima, viéndose que para este escenario se estima en la simulación una temperatura favorable entre 24,5°C y 25°C, manteniendo una estabilidad en la temporada seca y por ende sus precipitaciones oscilan entre 2206 mm y 1998 mm, considerándose con la capacidad eficaz para el desarrollo del cultivo de maíz. Siendo semejante a lo que manifestado por (Mafongoya P, 2015) indicaron que la mayoría de los agricultores (85,7%) perciben que la precipitación ha disminuido en los últimos 10 a 20 años. Esto implica que el distrito se está volviendo cada vez más propenso a las sequías debido a la disminución de las precipitaciones percibidas por los agricultores.

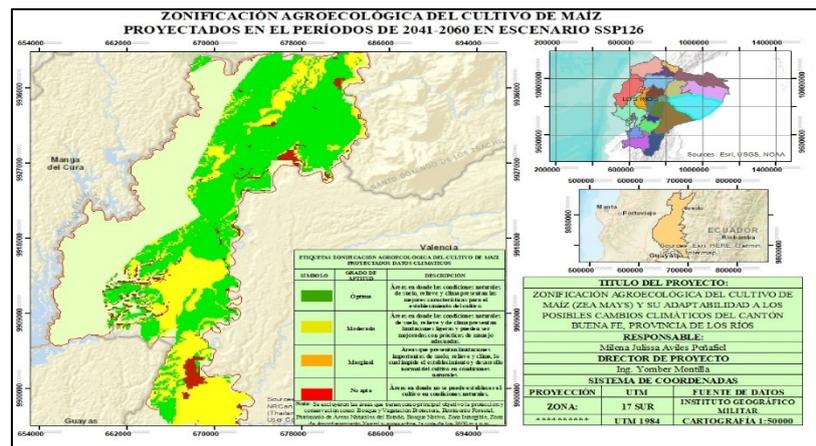


Figura 3 Mapa de zonificación agroecológica proyectados para 2041-2060 en escenario ssp1

Zonificación agroecológica del cultivo de maíz para el periodo del 2081 hasta el 2100 en escenario SPP5.

De acuerdo a la simulación de realizada de la zonificación agroecológica del cantón Buena Fe que se analizó dentro del escenario SSP5 en el cual se diseñó para el periodo de 2081 al 2100 se estima que para este escenario las áreas idóneas u óptimas disminuyen casi el 90%, donde se denota que las áreas representadas de color verde prácticamente han desaparecido, siendo estas 4500 hectáreas, mientras, el área de idoneidad moderado representado por el color amarillo se encuentra 26576 hectáreas donde el sembrío de maíz generara una mejor producción e incluso se tendrá una mejor adaptabilidad ante las adversidad ante el cambio climático.

Contemplando que es una situación manejable dado a que las condiciones climáticas son ligeras y sus variables del suelo se encuentran en altas concentraciones como es el pH, el contenido orgánico que proceden a generar una mayor fertilidad al suelo, lo cual produce que se conserve con una textura de franco arenoso, esperando que la población no expanda la instalaciones de industrias, explotación de recursos entre otros factores que disminuirían la cantidad de zonas para el desarrollo de maíz y las variables climáticas presentando de 2634 mm a 2675 mm y temperaturas de 25°C y 26°C, siendo así, de acuerdo a lo encontrado por (Schauberger et al., 2017) indica que el efecto amortiguador del riego sobre la respuesta de temperatura del rendimiento respalda la hipótesis de que el estrés hídrico inducido por la temperatura es el principal impulsor de la disminución de temperaturas >30°C.

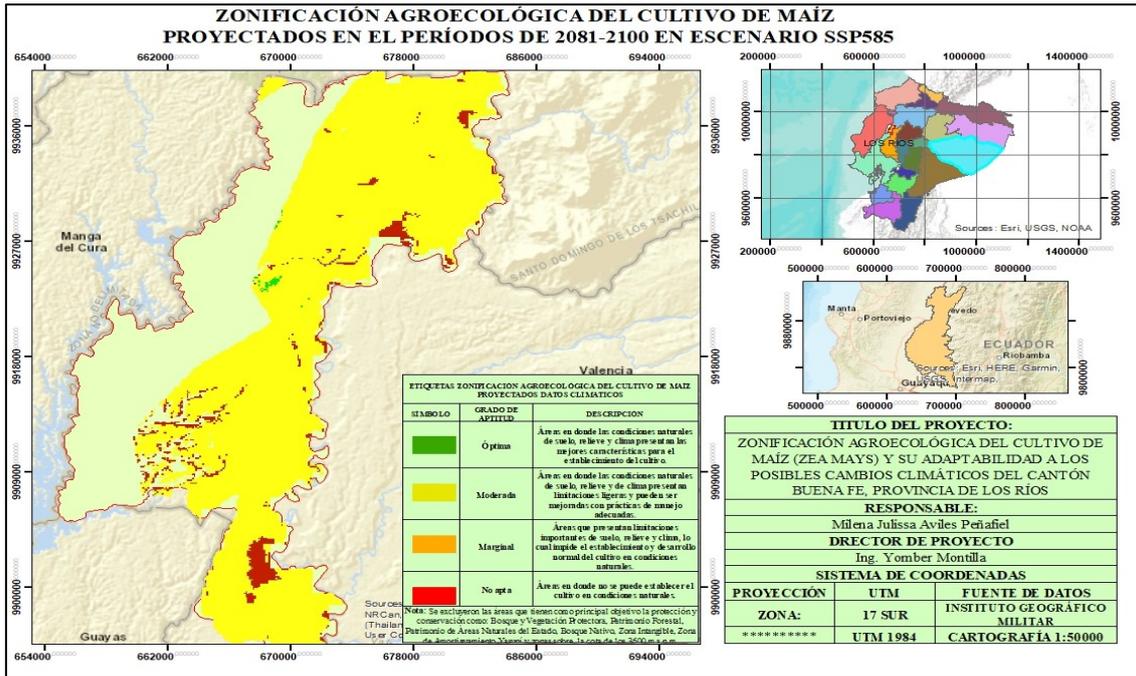


Figura 4. Zonificación agroecológica proyectos para 2081-2100 en escenario ssp1

Contraste entre los dos escenarios estudiados del diseño de zonificación agroecológica.

En el mismo contexto, se determina que en el diseño de la zonificación agroecológica de del escenario SSP 1, se puede denotar que las variabilidad climática influye de manera controlada, ya que de acuerdo al periodo d 2041-2060 las zonas optimas aun sigues encontrándose en varias parte del cantón Buena Fe como e observa en la Figura 15 de acuerdo a la simulación realizada, dado a que la alteración de las variables climáticas se encuentran todavía estables, denotando que únicamente que existe la probabilidad que las variables biofísicas se encontrarían afectadas, pero dado a que las zonas aún están en altas condiciones para mantener un buen porcentaje ene le rendimiento de maíz, consigo en el siguiente periodo del 2080-2100 en el escenario de SSP5 las zonas moderadas son apoderadas en su mayor parte del cantón, pero aun así aún siguen encontrándose zonas aptas para la adoración del cultivo transitorio, puesto a ello se puedo determinar que en esta zonificación los cambios del clima no generan un alto porcentaje de afectaciones al suelo del cantón en estudio, quizás a la preocupación de los agricultores generando buenas prácticas ambientales y agrícolas, disminuyendo los impactos negativos al ambiente.

Por ello, dado a los efectos del cambio climático es necesario indicar a la población las causas hacia el ambiente, en cual por medio del plan de gestión ambiental se expone

medidas para los posibles impactos sobre los medios físicos, biológicos y paisajísticos con la puesta en marcha del proyecto, donde se prevén una aplicación correcta de los planes de mitigación, buscando estrategias convenientes, oportunas para un plan de gestión ambiental, por ende, según la investigación de (Lima et al., 2020). Las orientaciones para el manejo sostenible buscan fomentar la diversificación productiva dentro de la estrategia de potenciación de recursos propios y el desarrollo de prácticas de producción agroecológica compatibles con el medioambiente y con la conservación de los espacios rurales. Este estudio plantea la necesidad de la selección de cultivos y sistemas de manejo para hacer un uso óptimo de la oferta climática y minimizar los riesgos asociados al clima.

El diseño de una proyección para la zonificación agroecológica determina a que los agricultores tomen medidas de adaptación y de mejora para en el proceso de producción, detectando las dificultades que se podrían dar al disminuir la potencialidad en el suelo a causa de la variabilidad climática, analizando que la producción podría decrecer por no encontrarse en un lugar óptimo, por ende, según la investigación de (Olivares et al., 2018) Las orientaciones para el manejo sostenible buscan fomentar la diversificación productiva dentro de la estrategia de potenciación de recursos propios y el desarrollo de prácticas de producción agroecológica compatibles con el medioambiente y con la conservación de los espacios rurales. Es muy importante realizar este tipo de zonificaciones de cultivo para ubicar las especies según la estación de crecimiento y realizar las labores mecanizadas, agrícolas y culturales en las épocas más adecuadas.

CONCLUSIONES

En el periodo de 2041 al 2060 las zonas óptimas aún son visualizadas y conservadas, pero al pasar el tiempo y según la proyección la variabilidad climática aumenta, entonces desvanece las áreas óptimas, obteniendo consigo áreas moderadas en cual es satisfactoria de igual forma que aún se puede mantener la producción, pero si no mantiene las buenas prácticas ambientales y agrícolas esta proyección puede cambiar a zonas marginales.

Las diversas estrategias para generar un mejor rendimiento de maíz ante los efectos del cambio climático aborda las posibilidades de incrementar la producción de maíz en el cantón Buena Fe, se generaron varias medidas que los agricultores deben optar para generar una mayor productividad y por ende un buen estado económico, siendo así como

la implementación de la labranza cero y la diversificación de cultivos o combinación de variedades de cultivo como defensa ante los efectos del clima, para ellos es necesario que se oriente a productores de maíz sobre los beneficios o garantía que conduce las buenas prácticas ambientales y agrícolas además de contribuir favorablemente con el clima cambiante, esperando únicamente una disminución de emisiones de CO₂ y obtener zonas óptimas para los años futuros.

LISTA DE REFERENCIAS

- Dubois, H., Verkasalo, E., & Claessens, H. (2020). Potential of birch (*Betula pendula* Roth and *B. pubescens* Ehrh.) for forestry and forest-based industry sector within the changing climatic and socio-economic context of Western Europe. *Forests*, *11*(3), 336.
- Enríquez Imbaquingo, M. S., & Morales Rueda, A. E. (2019). *Efectos del cambio climático en los requerimientos agroecológicos de los cultivos en la comunidad San Clemente, provincia de Imbabura*.
- Georgakopoulos, P., Travlos, I. S., Kakabouki, I., Kontopoulou, C.-K., Pantelia, A., & Bilalis, D. J. (2016). Climate change and chances for the cultivation of new crops. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, *44*(2), 347–353.
- Islam, A., Ahuja, L. R., Garcia, L. A., Ma, L., Saseendran, A. S., & Trout, T. J. (2012). Modeling the impacts of climate change on irrigated corn production in the Central Great Plains. *Agricultural Water Management*, *110*, 94–108. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2012.04.004>
- Lima, C. I. S. de, Silva, F. D. dos S., Freitas, I. G. F. de, Pinto, D. D. C., Costa, R. L., Gomes, H. B., Silva, E. H. de L., Silva, L. L. da, Silva, V. de P. R. da, & Silva, B. K. da N. (2020). Método Alternativo de Zoneamento Agroclimático do Milho para o Estado de Alagoas. *Revista Brasileira de Meteorologia*, *35*(spe), 1057–1067. <https://doi.org/10.1590/0102-778635500113>
- Lopez, G., Gaiser, T., Ewert, F., & Srivastava, A. (2021). Effects of Recent Climate Change on Maize Yield in Southwest Ecuador. *Atmosphere*, *12*(3), 299.

- Lozano-Povis, A., Alvarez-Montalván, C. E., & Moggiano, N. (2021). Climate change in the andes and its impact on agriculture: a systematic review. *Scientia Agropecuaria*, 12(1), 101–108.
- Mafongoya P, J. O. (2015). Smallholder Farmer Perceptions on Climate Change and Variability: A Predisposition for their Subsequent Adaptation Strategies. *Journal of Earth Science & Climatic Change*, 06(05). <https://doi.org/10.4172/2157-7617.1000277>
- Olivares, B. O., Hernández, R., Arias, A., Molina, J. C., & Pereira, Y. (2018). Zonificación agroclimática del cultivo de maíz para la sostenibilidad de la producción agrícola en Carabobo, Venezuela. *Revista Universitaria de Geografía*, 27(2), 135–156.
- Osborne, T. M., & Wheeler, T. R. (2013). Evidence for a climate signal in trends of global crop yield variability over the past 50 years. *Environmental Research Letters*, 8(2), 24001.
- Patricia, Z. V. (2011). *Evaluación del cambio climático y sus impactos sobre los cultivos de trigo, maíz y agave de la Región Ciénega de Chapala (análisis retrospectivo y análisis prospectivo)*.
- Reyes Anistro, G. I., Adame Martínez, S., & Cadena Vargas, E. (2018). Vulnerabilidad ante la variabilidad climática en los cultivos de maíz *Zea mays*. *Sociedad y Ambiente*, 17, 93–113.
- Schauberger, B., Archontoulis, S., Arneth, A., Balkovic, J., Ciais, P., Deryng, D., Elliott, J., Folberth, C., Khabarov, N., Müller, C., Pugh, T. A. M., Rolinski, S., Schaphoff, S., Schmid, E., Wang, X., Schlenker, W., & Frieler, K. (2017). Consistent negative response of US crops to high temperatures in observations and crop models. *Nature Communications*, 8(1), 13931. <https://doi.org/10.1038/ncomms13931>
- Subba Rao, A. V. M., Sarath Chandran, M. A., Bal, S. K., Pramod, V. P., Sandeep, V. M., Manikandan, N., Raju, B. M. K., Prabhakar, M., Islam, A., Naresh Kumar, S., & Singh, V. K. (2022). Evaluating area-specific adaptation strategies for rainfed maize under future climates of India. *Science of The Total Environment*, 836, 155511. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155511>

van Vuuren, D. P., Stehfest, E., Gernaat, D. E. H. J., Doelman, J. C., van den Berg, M., Harmsen, M., de Boer, H. S., Bouwman, L. F., Daioglou, V., Edelenbosch, O. Y., Girod, B., Kram, T., Lassaletta, L., Lucas, P. L., van Meijl, H., Müller, C., van Ruijven, B. J., van der Sluis, S., & Tabeau, A. (2017). Energy, land-use and greenhouse gas emissions trajectories under a green growth paradigm. *Global Environmental Change, 42*, 237–250. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.05.008>

Varela, S., Terribile, L. C., de Oliveira, G., Diniz-Filho, J. A. F., González-Hernández, J., & Lima-Ribeiro, M. S. (2015). ecoClimate, a new open-access repository with variables for the past, present and future climatic scenarios. *Ecosistemas, 24*(3), 88–92. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2015.24-3.11>