



TESIS

**“ESTRATEGIA AGRÍCOLA ANTE VARIABILIDAD EN
PRECIPITACIONES: SENSIBILIDAD DEL AGRICULTOR DE LA CUENCA DEL
RÍO GUAYAS Y ESMERALDAS”**

Previa a la obtención del Título de:
MAGÍSTER EN CIENCIAS ECONÓMICAS

Presentado por:
JULIO EMANUEL TINOCO MONTERO

Guayaquil – Ecuador
2025

AGRADECIMIENTOS

*A Lauren Rhodes por sus valiosos
consejos que ayudaron a perfeccionar este trabajo
y ayudaron a despertar el instinto de investigador
en mí. A Bernard Moscoso por enriquecer mi
formación en metodologías espaciales.*

*A todo el equipo del CIEC, por
acompañarme durante todo el proceso haciendo
críticas constructivas y potencializando esta tesis,*

*Y a todo el equipo docente que me ha
brindado siempre su apoyo hasta en la mínima
consulta*

Julio Tinoco

DEDICATORIA

En dedicatoria a mi familia,
que siempre me ha apoyado y guiado
en mis sueños, mi vida profesional y
personal.

A mis compañeros de la
cohorte V que fueron un pilar
importante para alcanzar esta meta.

Julio Tinoco

COMITÉ DE EVALUACIÓN

Ph.D. Lauren A. Rhodes

Tutor de la Tesis

MSc. Maria Alejandro Ruano

Evaluador 1

Dr. Fabricio Zanzzi

Evaluador 2

DECLARACIÓN EXPRESA

Yo JULIO EMANUEL TINOCO MONTERO, acuerdo/ y reconozco que: La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores. El o los estudiantes deberán procurar en cualquier caso de cesión de sus derechos patrimoniales incluir una cláusula en la cesión que proteja la vigencia de la licencia aquí concedida a la ESPOL.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, secreto empresarial, derechos patrimoniales de autor sobre software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por mí/nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que me/nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de mi/nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique al/los autor/es que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 9 de junio del 2025.

Autor

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
COMITÉ DE EVALUACIÓN.....	iv
DECLARACIÓN EXPRESA.....	v
ÍNDICE GENERAL.....	vi
ABSTRACT	viii
RESUMEN.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ABREVIASIONES	xii
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
I.1 Antecedentes.....	1
I.2 Definición del problema	4
I.3 Pregunta de investigación.....	5
I.3.1 Objetivo Principal	5
I.3.2 Objetivos Específicos.....	6
CAPÍTULO II: REVISIÓN LITERARIA	7
CAPÍTULO III: MARCO TEÓRICO	13
CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA.....	20
CAPÍTULO V: DATOS	24
V.1 Recolección.....	24
V.2 Procesamiento	31
V.3 Descripción de datos	37
CAPÍTULO VI: RESULTADOS	54

VI.1	SALUD VEGETAL	54
VI.2	ESTRATEGIA AGRÍCOLA	66
VI.3	DISCUSIÓN.....	75
	CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES	79
	REFERENCIAS	81

ABSTRACT

Climate variability is enhanced by climate change, generating more sporadic extreme rainfall and longer droughts. Therefore, studying how these climatic processes modify the agricultural production strategy allows us to understand the process of optimizing production plans empirically. The Guayas and Esmeraldas river basins are two territories of high agricultural production. The work studied the process of land use modification and agricultural plant health through spatial panel econometric methods. It was found that agricultural activity below 500 m altitude reduces its vegetation thickness by 25% due to the effect of extreme precipitation. Meanwhile, for agriculture between 500 m and 1500 m altitude, droughts have sustained negative effects of up to 18 months. Similarly, it was possible to differentiate the resilience to water stress for large and small farmers.

RESUMEN

La variabilidad climática se potencializa por el cambio climático, generando lluvias extremas de manera más esporádica y sequías más largas. Por lo que, estudiar cómo estos procesos climáticos modifican la estrategia productiva agrícola permite entender el proceso de optimización de planes de producción de manera empírica. La cuenca de los ríos Guayas y Esmeraldas son dos territorios de alta producción agrícola. En el trabajo se estudió el proceso de modificación de uso de suelo y salud vegetal agrícola, a través de métodos econométricos de paneles espaciales. Se encontró que, la actividad agrícola a menos de 500 m de altura, reduce su espesor vegetal en un 25 % por efecto de precipitaciones extremas. Mientras que, para la agricultura realizada entre los 500 m y 1500 m de altura las sequías mantienen efectos negativos sostenidos de hasta 18 meses. Del mismo modo, se logró diferenciar la resiliencia al estrés hídrico para agricultores grandes y pequeños.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla V.1: Diccionario de variables del panel espacial del primer diseño.....	35
Tabla V.2: Diccionario de variables del panel anual para uso de suelo.	36
Tabla V.3: Estadísticas descriptivas agrupadas por cuenca hidrográfica y estación climática para el panel completo.....	37
Tabla V.4: Estadísticas descriptivas organizadas por época climática y piso climático definido cada 500 metros de altura sobre el nivel del mar.	39
Tabla V.5: Estadística descriptiva por tamaño de productor medido por el porcentaje de uso de suelo agrícola por cuenca hidrográfica.	41
Tabla V.6: Conteo de unidades geográficas distribuidas por piso climático y concentración agrícola por uso de suelo.	43
Tabla VI.1: Selección del modelo con los criterios de ajuste y reducción de error.	54
Tabla VI.2: Resultados de la estimación mediante TWFE de la dinámica de salud vegetal ante la expectativa ex post de exposición a shocks de estrés hídrico por precipitaciones.	58
Tabla VI.3: Resultados de la estimación mediante TWFE de la dinámica de expectativas ex ante de salud vegetal ante la exposición a shocks de estrés hídrico por precipitaciones	61
Tabla VI.4: Selección de rezagos óptimos para el modelo de panel anual.	66
Tabla VI.5: Resultados de la estimación de efectos rezagados de indicadores de estrés hídrico sobre el uso de suelo agrícola	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura V.1: Ubicación de las cuencas hidrográficas del río Guayas y Esmeraldas.....	25
Figura V.3: Mapa de altura sobre el nivel del mar para el área estudiada.....	26
Figura V.4: Mapa de calor de uso de suelo agrícola para el año 2016 en el área de estudio, según MapBiomás Ecuador.	29
Figura V.5: Mapa de áreas de alto, bajo y sin riesgo de inundaciones para las áreas de estudio.	31
Figura V.5: Representación visual del análisis georreferenciado.....	33
Figura V.7: Evolución de los promedios estacionales por grilla de LAI clasificando áreas agrícolas por riesgo de inundaciones.....	44
Figura V.8: Evolución de los promedios estacionales por grilla de Precipitaciones Extremas, clasificando áreas agrícolas por riesgo de inundaciones.	45
Figura V.9: Evolución de los promedios estacionales por grilla de Precipitaciones Extremas, clasificando áreas agrícolas por riesgo de inundaciones	46
Figura V.10: Evolución de los promedios estacionales por grilla de Días sin Precipitación, clasificando áreas agrícolas por riesgo de inundaciones.	47
Figura V.11: Evolución de los promedios estacionales por grilla de Noches Cálidas, clasificando áreas agrícolas por riesgo de inundaciones.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura V.12: Evolución anual del uso de suelo agrícola en Hectáreas, clasificado por riesgo de inundación.	49
Figura V.13: Evolución de la variación interanual del uso de suelo agrícola en Hectáreas, clasificado por riesgo de inundación.	49
Figura V.14 Evolución del total de lluvias extremas por estación y nivel de riesgo a inundación.:	50
Figura V.15: Evolución del promedio de lluvias altas por estación y nivel de riesgo a inundación.	51
Figura V.16: Evolución del promedio de días sin precipitación por época climática y nivel de riesgo a inundación.....	52
Figura V.17: Evolución del promedio de noches cálidas por época climática y nivel de riesgo a inundación.	53
Figura VI.1: Efectos marginales de los rezagos de precipitaciones extremas clasificado por piso climático definido cada 500 metros de altura sobre el nivel del mar.	62
Figura VI.2: Efectos marginales de los rezagos de precipitaciones extremas clasificado por piso climático definido cada 500 metros de altura sobre el nivel del mar.	63
Figura VI.3: Efectos marginales de los rezagos de precipitaciones extremas clasificado por piso climático definido cada 500 metros de altura sobre el nivel del mar.	63
Figura VI.4: Efectos marginales de los rezagos de precipitaciones extremas clasificado por concentración de uso de suelo agrícola definido por quintiles.....	64
Figura VI.5: Efectos marginales de los rezagos de días sin precipitación clasificado por concentración de uso de suelo agrícola definido por quintiles.....	65
Figura VI.6: Efectos marginales de los rezagos de precipitaciones altas clasificado por concentración de uso de suelo agrícola definido por quintiles.....	66
Figura VI.7: Efectos marginales promedio de los indicadores de estrés hídrico por precipitaciones para el pisco climático 1 (entre 0 y 500 metros sobre el nivel del mar).....	70

Figura VI.8: Efectos marginales promedio de los indicadores de estrés hídrico por precipitaciones para el pisco climático 2 (entre 500 y 1000 metros sobre el nivel del mar).....	70
Figura VI.9: Efectos marginales promedio de los indicadores de estrés hídrico por precipitaciones para el pisco climático 3 (entre 1000 y 1500 metros sobre el nivel del mar)...	71
Figura VI.10: : Efectos marginales promedio de los indicadores de estrés hídrico por precipitaciones para el pisco climático 4 (entre 1500 y 2000 metros sobre el nivel del mar)...	71
Figura VI.11: Efectos marginales promedio de los indicadores de estrés hídrico por precipitaciones para el pisco climático 5 (mayor a 2000 metros sobre el nivel del mar).....	72
Figura VI.12: Efectos marginales promedio de los indicadores de estrés hídrico por precipitaciones para el grupo de bajo riesgo de inundación en el sector agrícola.....	73
Figura VI.13: Efectos marginales promedio de los indicadores de estrés hídrico por precipitaciones para el grupo de medio riesgo de inundación en el sector agrícola.....	74
Figura VI.14: Efectos marginales promedio de los indicadores de estrés hídrico por precipitaciones para el grupo de alto riesgo de inundación en el sector agrícola.....	74

ABREVIACIONES

ALU	Agricultural Land Use – Uso de Suelo Agrícola
ANDA	Archivo Nacional de Datos y Metadatos
BCE	Banco Central del Ecuador
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
C3S	Copernicus Climate Change Service
CDD	Continuous Drought Days
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
CLMS	Copernicus Land Monitoring Service
DEM	Digital Elevation Map
ENCC	Estrategia Nacional de Cambio Climático
ENOS	El Niño Oscilación del Sur
ESPAC	Encuesta de Superficie y Producción Agrícola Continua
FAO	Food and Agricultural Organization
GADM	Global Administration Map
GEI	Gases de Efecto Invernadero
GIS	Geographic Information System – Sistemas de Información Geográfica
INEC	Instituto Nacional de Estadísticas y Censos
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
LAI	Leaf Area Index – Índice de Área de Follaje
MAATE	Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica
MAG	Ministerio de Agricultura y Ganadería
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible

ONU	Organización de las Naciones Unidas
PNACC	Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático
RAISG	Red Amazónica de Información Socioambiental Georreferenciada
SIPA	Sistema de Información Pública Agropecuaria
SNGR	Secretaría Nacional de Gestión de Riesgo
UDS	Uso de Suelo
USD	United States Dollars
VAB	Valor Agregado Bruto

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

I.1 Antecedentes

Ecuador es un país megadiverso ubicado en la línea ecuatorial, que ha gozado de una estacionalidad climática muy estable, definiendo así una etapa húmeda con abundancia de lluvias y una etapa seca caracterizada por temperaturas bajas y poca precipitación. Al mismo tiempo, es un territorio con alta afección por la variabilidad climática, dado que sus ciclos de lluvia y sequías se ven modificados por la presencia del fenómeno del niño y la niña, el cual produce impactos en intervalos de tiempo no definidos (Hidalgo-Proaño, 2025).

Los efectos de la variabilidad climática son más notorios en los ciclos productivos, dado que sus efectos son inmediatos sobre áreas urbanas, infraestructura crítica, y principalmente en la agricultura y sostenibilidad alimentaria (Thornton et al., 2014). Por otro lado, la variabilidad climática se ve potencializada por el cambio climático, el cual corresponde a análisis de largo plazo considerando desviaciones sobre los parámetros históricos de temperaturas y precipitaciones (McCracken, 2019). En conjunto, ambas condiciones climáticas generan incertidumbre para la producción proyectada, ya que se modifican etapas de lluvias tanto en duración como en intensidad, produciendo etapas de sequías extendidas, periodos de inundaciones más fuertes, olas de calor, entre otros (Salinger, 2005).

A pesar de esto, la relevancia de las investigaciones y prevenciones con respecto al cambio climático y variabilidad climática han quedado al segundo plano en la sociedad. Las planificaciones de los efectos climáticos han tomado una gran participación dentro de los foros nacionales a partir del 2017, donde se coordinaron las autoridades y las distintas áreas académicas para profundizar en los vacíos del tema (Cadilhac et al., 2017).

Es desde entonces que el estado ha desarrollado una agenda con mayor relevancia a nivel de acción y prevención. Ejemplo de esto es la publicación del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC) en el 2022, donde se estudian efectos a mediano y largo plazo de los principales recursos nacionales bajo las proyecciones de cambio y variabilidad climática. Anteriormente, se publicó la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC) 2012–2025, en la cual se propuso un enfoque más multidisciplinario orientado hacia el control de la emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI) a través de la coordinación de visiones institucionales.

En el PNACC se exponen diferentes consecuencias del cambio climático hacia el 2040 para los principales recursos hidrográficos del país. Entre estos pronósticos se detalla que, la cuenca del río Guayas presentará problemas en todo el año para satisfacer necesidades productivas, además de que en los meses de julio hasta noviembre la esorrentía será tan baja que no sería suficiente para satisfacer necesidades biológicas. Semejantemente, para la cuenca del río Esmeraldas y Jubones se pronostican mayor generación de sedimentos y reducción del caudal con respecto a la media histórica.

Las condiciones del cambio climático son inevitables. Para el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC), en el periodo 2001-2020 ya se ha alcanzado el cambio de 1.5 °C con respecto al histórico desde 1900. A pesar de los esfuerzos por coordinación en reducciones de emisiones de los GEI, los efectos son ya visibles en campos como la Oceanografía o los ecosistemas. Mientras que, la acción humana a través del cambio de uso de suelo contribuye a estos efectos. Siendo de las áreas más afectadas la producción agrícola, la disponibilidad de agua, las reservas pesqueras, la infraestructura crítica y el crecimiento económico (IPCC, 2023).

Desde otra perspectiva, la variabilidad climática ya ha presentado su primer impacto en el país. En 2023 se reportó por parte de la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos (SNGR) un fenómeno del niño fuerte con 100 % de probabilidad, sin embargo, este no llegó en el periodo normal (diciembre - febrero), sino que se presentaron anomalías de precipitaciones hasta junio del mismo año. Por otro lado, las reducciones en precipitación durante los meses secos entre 2023 y 2024 fueron tales que afectaron a la producción de energía eléctrica.

Enfocándose en la perspectiva a por venir, la agricultura es un factor importante para el futuro de la humanidad, constituyendo así un objetivo de desarrollo sostenible. Para la Organización de las Naciones Unidas (ONU), el Objetivo de Desarrollo Sostenible 2 (ODS2) significa afrontar el problema de la hambruna mundial en el horizonte inmediato (ONU, n.d.), por lo que, garantizar la sostenibilidad alimentaria hacia 2050 es fundamental para muchos territorios. Este objetivo es afrontado por la Food and Agriculture Organization (FAO, 2023); además, Ecuador está realizando también sus gestiones particulares desde sus esfuerzos institucionales.

En la actualidad, la agricultura continúa ostentando una relevancia social, ya que representa la fuente de trabajo para el 30 % de la población en el 2023 (INEC, 2024). Mientras

que, en términos económicos, las exportaciones de productos primarios no petroleros representan el 50 % del mercado internacional ecuatoriano, además de que la producción agrícola genera el 6.5 % del Valor Agregado Bruto (VAB) y la agroindustria, participa con el 6% del VAB (SIPA, n.d.).

A pesar de lo expuesto, el fenómeno de mayor impacto climático en el país es el fenómeno del niño (ENOS). De manera histórica, se reconoce como eventos extremos al ENOS de 1982 y 1997, siendo estos causantes de pérdidas económicas de 650 millones de USD y de 2.869 millones de USD, respectivamente (MSP, 2002). En 2016, se presentó una estrategia de prevención temprana para mitigar los efectos del ENOS extremo pronosticado para dicho año, tomando programas de transferencia de riesgos para cultivos estratégicos como el maíz y el arroz (BID, 2024). Fuera de estos productos estratégicos, la producción agrícola ha ido fomentando sus labores investigativas en garantizar producción de calidad, tanto en aristas de producción orgánica como tecnificación de riego, calidad y mejora del uso de pesticidas y fertilizantes. Lo que representa un bajo enfoque en esfuerzos de adaptación climática.

Desde un enfoque afín a la teoría económica, se puede enmarcar a la actividad agrícola como un plan de producción con fronteras tecnológicas. Del mismo modo, el agricultor tiene un conjunto de estrategias agrícolas que modifican la producción agrícola de acuerdo con sus experiencias. Bajo este modelo, las exposiciones a eventos climáticos extremos componen una amenaza, la cual modifica las planificaciones de producción, ya sea por las experiencias previas o los anticipos causados por reportes climáticos (Vanderheiden et al, 2004; Khosravi, Boshrahadi, 2018).

Es por esto, que diferentes fenómenos climáticos representan diferentes amenazas, cuyas exposiciones representan estrategias heterogéneas de los actores. Sin embargo, la precipitación es un factor importante para la producción agrícola, ya que sus eventos extremos representan amenazas contra la integridad no solo de la cosecha, sino de los asentamientos humanos, el comercio y el abastecimiento de servicios básicos (CEPAL, 2015).

Por esto, el análisis de sensibilidad y cambios productivos en la agricultura no solo se debe dar ante las proyecciones de tendencias del cambio climático. Si no de entender cómo en la actualidad el agricultor se ve afectado ante la exposición a eventos extremos. También estudiar cómo la estrategia productiva en la actualidad se modifica ante las percepciones de experiencias pasadas y de predicciones (Ji y Cobourn, 2021). Esto, para desarrollar un marco de

trabajo que permita evaluar cómo las capacidades, estrategias y planes de producción de los agricultores, se han ido modificando ante la presencia de eventos climáticos extremos. Principalmente, enfocándose en las lluvias extremas y las ausencias prolongadas de precipitaciones.

I.2 Definición del problema

Para poder presentar un análisis económico enfocado en el comportamiento del agricultor y su exposición a eventos climáticos extremos, es necesario demarcar las limitaciones del estudio. Para este trabajo se estudia la capacidad del agricultor de aprender de exposiciones a eventos climáticos extremos de precipitación, además de caracterizar las expectativas climáticas sobre la estrategia productiva agrícola.

Los productores agrícolas tienen diferentes comportamientos estratégicos dependiendo de sus características productivas y fronteras de posibilidades. Al proceso de explotación de recursos como el suelo, la elección de cultivo, intensidad de cultivo, aplicación de fertilizantes, o pesticidas se denomina estrategia agrícola, ya que representa un proceso de optimización de recursos (Huine, 2003). Este proceso considera riesgos climáticos, e interacciones complejas del ambiente y el sector económico, por lo que durante el proceso el agricultor maximiza ganancias mientras reduce costos (Nanlin et al., 2007).

Por esto, es necesario caracterizar a los grandes y pequeños productores, ya que tienen recursos diferentes para prepararse ante las contingencias por eventos climáticos extremos (Reidsma et al., 2010). Además, de que los diferentes pisos climáticos representan efectos diferentes de los eventos extremos sobre la producción agrícola. En pisos bajos hay amenaza de inundación, mientras que en los pisos altos hay amenaza de deslizamientos.

De manera específica, el área agrícola de Ecuador está concentrada principalmente en la región costa, donde la cuenca del río Guayas, tanto afluentes como desembocaduras, componen el 50 % del área productiva (Hurtado et al., 2019). Sin embargo, la cuenca del río Esmeraldas compone un grupo agro productivo que está expuesto a eventos extremos de precipitación, del mismo modo que la cuenca del río Guayas. Pero difieren en los patrones productivos, ya que las especies vegetales producidas son diferentes.

Bajo el componente de variabilidad climática, se caracterizan a los fenómenos como precipitaciones extremas, además de días consecutivos sin precipitaciones. Por el contrario, el

ENOS se debe tomar en cuenta por su gran impacto climático, ya que genera expectativas ante su anuncio. En Ecuador, el año 2016 se registra la última planificación efectiva de prevención de riesgos ante fenómeno del niño extremo (SNGR, 2015). Por otro lado, fuentes extranjeras como el National Weather Service (NWS) a través del Climate Prediction Center (CPC), reportan su clasificación del ENOS a través del Oceanic Niño Index (ONI), lo cual permite identificar ENOS moderados y extremos.

Por lo que, caracterizar estas condiciones productivas permiten entender mejor el contexto de sensibilidad ante los eventos extremos. Sin embargo, este enfoque presenta limitaciones, ya que la caracterización por producto agrícola no es viable a un nivel tan específico como productor. Pese a esto, hay otras colecciones de datos como los indicadores vegetales y el uso de suelo que permiten seguir el comportamiento estratégico agrícola. Por esto, el periodo de tiempo se debe restringir entre 2014 y 2019, puesto que son los años en los que las colecciones de datos satelitales permiten desagregar la información a nivel espacial.

I.3 Pregunta de investigación

I.3.1 Objetivo Principal

Dado que las estrategias agrícolas son cruciales para asegurar la productividad y sostenibilidad del sector agropecuario, la pregunta central de esta tesis es “*¿Cómo han afectado los eventos extremos de precipitación a la estrategia agrícola de la cuenca de los ríos Guayas y Esmeraldas?*” La cual se perfila a comprender cómo los agricultores han ajustado sus prácticas frente a los cambios extremos en las precipitaciones, tanto a partir de experiencias previas como en anticipación a los pronósticos climáticos.

Con lo antes expuesto, el objetivo principal de este trabajo de titulación es:

- *Analizar los efectos de los eventos extremos de precipitación sobre el uso de suelo y vegetación agrícola en las cuencas de los ríos Guayas y Esmeraldas en el periodo 2014-2019.*

Este estudio tiene un enfoque espacial, que examina los comportamientos de los agricultores durante el periodo 2014-2019, coincidiendo con la ocurrencia del fenómeno de El Niño. Además, se incluye un análisis de las características climáticas y productivas de las unidades productivas, con el fin de identificar cómo las condiciones externas influyen en la toma de decisiones estratégicas de los agricultores.

I.3.2 Objetivos Específicos

Para abordar la pregunta de investigación de este trabajo, se emplean los siguientes enfoques que ofrecen respuestas directas, considerando las limitaciones previamente expuestas:

1. Evaluar el impacto en la salud vegetal y la producción agrícola derivado de la exposición a estos eventos climáticos extremos
2. Cuantificar los cambios en el patrón productivo tanto antes como después de la exposición a eventos climáticos extremos de precipitación.

El primer objetivo se enfoca de manera más detallada en evaluar cómo dichos eventos afectan la producción agrícola, a través de los impactos biofísicos de la vegetación agrícola. Mientras que, el segundo objetivo específico busca identificar los efectos generales de los shocks de precipitación sobre la estrategia agrícola. Observando cómo las modificaciones en el patrón productivo ocurren como respuesta a estos eventos extremos.

De esta manera, la estrategia agrícola se estudiará de forma integral y detallada, proporcionando un marco analítico que permita entender cómo los agricultores modifican su producción en anticipación y como consecuencia de los shocks climáticos. Estos cálculos y análisis permitirán evaluar, a futuro, cómo las variaciones en el patrón de precipitación alteran tanto la producción agrícola como las estrategias adoptadas por los agricultores ante estos cambios climáticos.

CAPÍTULO II: REVISIÓN LITERARIA

De forma general, en Ecuador, la investigación en agricultura y el cambio climático ya presentan primeros resultados del estado cambiante actual. Una de las perspectivas afectadas por esta problemática, es la agricultura familiar de los pueblos nativos. Ya que, los procesos de migración provocados por la actual corriente de desagrarización por parte de las nuevas generaciones, acompañados de la variabilidad del agua, hacen que la incursión en la actividad agrícola se vea reducida por las poblaciones rurales (Eche, 2018).

Complementando la propuesta anterior, hay investigaciones que sostienen que la alimentación de los agricultores con sistemas agroecológicos contiene un mayor nivel nutricional y de menor costo que sus vecinos no practicantes en la región sierra del país (Deaconu et al., 2021). También, desde la perspectiva del conservacionismo, hay seguimientos de los procesos de deforestación en las amazonas por cambio a suelo agrícola. Lo cual influye en el cambio del paisaje, las condiciones del ecosistema nativo, las emisiones de CO₂, los ingresos en las familias rurales y las gobernanzas del uso de tierras (Torres et al., 2020).

Para comprender la variabilidad climática en Ecuador, se debe definir al ENOS. El cual es un fenómeno del océano Pacífico que compone ciclos de enfriamiento y calentamiento superficial de manera no periódica (Philander, 1984). Dicho fenómeno fue documentado por primera vez en las costas de Ecuador y Perú por su gran impacto en la ecología costera de dichos países.

Bajo dicha especificación, el ENOS es un evento oceánico de alta relevancia para la actividad agrícola de la región a estudiar. En este tema, se han hecho estudios de los cambios de patrones de precipitaciones en el Amazonas por la presencia del ENOS (Filho et al., 2022). También se tiene evidencia de los impactos de las inundaciones causadas por el ENOS en las zonas urbanas de Durán, analizando su aversión al riesgo en términos financieros y su refuerzo por las desigualdades económicas (Frontuto et al., 2020). De manera semejante, Tauzer et al. (2019) estudió también las prevenciones comunitarias implementadas en las zonas del perímetro urbano en Machala desde un enfoque de riesgos de inundación. Enfocándose en la cuenca del río Guayas, Frappart et al. (2017) llevaron a cabo un estudio del fenómeno de inundaciones en este recurso hídrico, encontrando una posibilidad de inundación de 500 km cuadrados en la provincia de Los Ríos.

Sin embargo, el ENOS no solo potencia fenómenos de precipitaciones, sino que la etapa fría, llamada fenómeno de la niña, potencia la presencia de sequías. Desde la perspectiva de Ecuador, se encontró que distintas etapas oceánicas del ENOS alteran los patrones de sequías en la región sierra y costa del Ecuador. Este estudio sugiere monitorear las temperaturas oceánicas de las distintas regiones para modelar la variabilidad de precipitaciones en el país. (Vicente-Serrano et al., 2016). También el estudio de los agricultores por tamaño es justificado por su capacidad de adaptarse a los shocks climáticos, evitando que tomen la decisión de no producir por las barreras climáticas. Este enfoque es justificado en Colombia por Arteaga et al. (2025), además de estudiar los impactos de temperaturas altas y la probabilidad de salir de la actividad agrícola para el hogar colombiano.

Por otro lado, el análisis heterogéneo de zonas agrícolas es fundamentado por Amare et al. (2018), ya que justifica el análisis de efectos heterogéneos de la reducción de actividad agrícola, dado que afectan al consumo del hogar rural en 37%. Esto lo consiguió instrumentando la actividad agrícola con los shocks de precipitación de manera negativa, para Nigeria.

El uso de data satelital de salud vegetal como el Leaf Area Index es viable, ya que representa un buen predictor de la cosecha de maíz, soya y trigo (Jegó et al., 2012; Baez-Gonzalez et al., 2005). Además de conseguir mediciones precisas de la biomasa que genera un cultivo (Dong et al. 2020). También, es un parámetro que valida los impactos biofísicos de la vegetación producidos por modificaciones en su ambiente (Olsen, Bindi, 2002). En un enfoque más general, el cambio de uso de suelo se modifica por los shocks climáticos. Esto permite entender los patrones productivos de los agricultores (Delacote et al., 2019), además de que hace viable estimar la sensibilidad de los cambios productivos agrícolas (Arora et al. 2019). De este modo, podemos establecer el uso de suelo agrícola como nuestra variable de resultado que define la actividad estratégica, y el Leaf Area Index como medidor de la salud vegetal, el cual genera una ruta de análisis de efectos inmediatos sobre la vegetación agrícola.

Desde una perspectiva más global, hay avances relacionados con la sostenibilidad de la agricultura. Enfocándose en la economía agrícola, Burke y Emerick (2016) diagnosticaron en su año que las estrategias de mitigación y adaptación climática no eran eficientes, habiendo ayudado a reducir de manera mínima los impactos de los eventos extremos en la agricultura de los Estados Unidos. Internalizando estos conceptos, estudios más actuales buscan la relación entre shocks climáticos que más se han destacado. De este modo, se encuentran aquellos

relacionados con las precipitaciones y olas de calor extremas, así como sequías (Cui, 2020b; Earnhart y Hendricks, 2023; Zappalà, 2024). Además, los resultados negativos que se pueden esperar de shocks climáticos tienen una importante incidencia en la productividad de los cultivos (D'Agostino y Schlenker, 2016; Schmitt et al., 2022).

En general, para determinar el efecto de eventos climáticos extremos se parte de un modelo Ricardiano. Inicialmente, este marco fue propuesto por Mendelsohn et al. (1994), donde planteaba determinar el efecto del clima sobre el precio de la tierra, lo cual reducía las estimaciones del impacto del calentamiento global sobre la industria del agro en Estados Unidos. Los cuales, normalmente, obviaban esta característica de los agentes económicos. Sin embargo, la fiabilidad general del modelo Ricardiano ha sido cuestionada, especialmente debido a los desafíos en la identificación de las relaciones causales. Problemas como las variables omitidas y la potencial endogeneidad de las decisiones sobre el uso de la tierra complican la interpretación de los resultados (Timmins, 2006).

Como alternativa, las investigaciones de Deschênes y Greenstone (2007), proponen utilizar las fluctuaciones año a año del clima para evaluar los efectos del cambio climático en los rendimientos de los cultivos. Su enfoque en paneles, que controla factores regionales invariables no observables, ofrece un método más matizado en comparación con el modelo Ricardiano, abordando el problema de las variables omitidas de manera más efectiva. De manera más reciente, Cui (2020a) hace uso de un modelo de efectos fijos de panel con especificación de medias móviles (moving-average), el cual utiliza datos de China, a nivel de condado, durante varias décadas. La estrategia de identificación empleada en el análisis aprovecha la variación temporal dentro de cada condado en los promedios climáticos locales, conocidos como “normales climáticos”, que representan promedios de temperatura y precipitación durante los 30 años previos.

De igual manera, se ha visto en los últimos años cómo el cambio climático puede afectar incluso las fuerzas migratorias de un territorio (Letta et al., 2024). Por ejemplo, estudios como el de Sedova y Kalkuhl (2020) junto con el de Jessoe et al. (2018) muestran que los choques climáticos adversos reducen la migración rural-rural y la migración internacional, pero empujan a las personas hacia las ciudades, especialmente en estados más prósperos. Las personas que componen este movimiento son naturalmente provenientes sector agrícola, especialmente de hogares con baja educación y alta dependencia de la agricultura. Inclusive,

con la decisión estratégica, podemos referirnos al trabajo de Kubik y Maurel (2016) en el cual realizan un enfoque de cómo los shocks climáticos modifican el patrón de migración de poblaciones rurales en Tanzania. En dicho trabajo, justifican los movimientos de personas en áreas rurales a través de los shocks en precipitaciones, ya que modifican las expectativas de ganancias económicas por bajas productividades en los cultivos.

Por otro lado, el impacto de shocks climáticos también ha permitido medir la propensión a adaptar nuevas tecnologías, los cambios de intensidad en insumos agrícolas como pesticidas, fertilizantes y semillas (Arslan, Belotti, Lipper, 2016). Por otro lado, modelaciones de series de tiempo han permitido entender dinámicas de mercado agrícola, mediante la modificación de precios en productos agrícolas a través de shocks climáticos (Nes et al., 2023).

De manera empírica Ji y Cobourn (2021), han evaluado que los agricultores no solo toman decisiones con las tendencias de largo plazo, sino que modifican sus estrategias a futuro con base en los shocks climáticos contemporáneos y generan expectativas de producción ex ante. Evaluándolo mediante las ganancias esperadas, contra las generadas y también en la ubicación y extensión de los cultivos. Estimando ponderaciones de la exposición a eventos extremos y su decaída en la dinámica temporal.

Dado estas respuestas, existe evidencia de que los agricultores pueden implementar estrategias para menguar los estragos de los shocks climatológicos, como bien lo discute Dell et al. (2014). De hecho, un estudio pionero que incorporó la capacidad de adaptarse de los granjeros ante shocks climáticos fue el propuesto por Mendelsohn et al. (1994). Debido a las respuestas que agricultores pueden tener frente a cambios climáticos, se han hecho esfuerzos constantes para tratar de determinar cómo es el comportamiento de estos agentes en este tipo de situaciones para predecir en un futuro cuál sería el impacto de shocks climáticos en la agricultura de un país. Se han presentado modelos teóricos que han tratado de simular el comportamiento real de los agricultores, aunque para ello se han utilizado supuestos de información perfecta y una respuesta homogénea por parte de los actores ante el cambio climático (Deryugina y Hsiang, 2017; Hsiang, 2016). Sin embargo, Zappalà (2024) plantea que se está subestimando la importancia de la precisión de las creencias en la conducción del comportamiento adaptativo. Dicho de otra manera, existe una “brecha de creencias”, donde las creencias inexactas impiden que los agricultores se adapten de manera eficiente, exacerbando el impacto de los choques climáticos.

Por otro lado, otro tipo de simulaciones se han realizado de manera computacional, aunque mucho se ha discutido acerca de sus altos costos y la necesidad de contar con grandes volúmenes de datos (Shang et al., 2024). Para ello, se ha tratado de optimizar el uso computacional mediante la aplicación de modelos de aprendizaje automatizados. Por ejemplo, Stetter et al. (2024) se basan en *reinforcement learning* para simular la adopción de prácticas agroforestales. Este enfoque se basa en multi-armed bandits, en el cual se permite que los sujetos aprendan reglas, pasando de una característica de un individuo a una acción. Los resultados obtenidos indican que el cambio en las condiciones climáticas, del mercado y de las políticas influye en la distribución espacial de la adopción de sistemas agroforestales.

Otro estudio, como el de Ramsey et al. (2021), propone el uso de un logit multinomial dinámico con efectos aleatorios (DML-RE) para analizar el proceso de toma de decisiones, considerando las expectativas adaptativas de los agricultores basadas en eventos climáticos pasados. Los resultados de los modelos sugieren que los agricultores se adaptan más lentamente a los eventos climáticos extremos, pero pueden hacer ajustes inmediatos a corto plazo ante fluctuaciones leves. Por otro lado, Wimmer et al. (2024) se basan en un modelo estructural para analizar cómo los agricultores ajustan (maximizan) sus decisiones de producción de cultivos e insumos en función de las expectativas y realidades climáticas. Se encuentra que el impacto de un shock climático, con efectos duraderos en la producción de cultivos, reduce la oferta de ciertos cultivos y la demanda de fertilizantes. Además, las respuestas a los choques climáticos varían según el tamaño de la granja, siendo las granjas más pequeñas más vulnerables a los impactos climáticos.

Cambiando el enfoque, la aplicación de información georreferenciada añade mayor precisión a los estudios, ya que este método favorece la implementación de mayores metodologías estadísticas. Por ejemplo, se encontraron los efectos de las fumigaciones intensivas sobre la salud de los neonatos en las zonas bananeras del país, encontrando efectos adversos significativos (Calzada et al., 2023). También se pueden robustecer resultados, por ejemplo, Fernandez y Pazzona (2017) en su estudio proponen evidenciar que la migración colombiana no afectó a una subida de la criminalidad en Ecuador en la década de los 2010. En dicho estudio se utilizaron muchas metodologías, entre ellas efectos de derrame resultando no significativos. Esta innovación metodológica en el análisis económico permite abordar preguntas más complejas, como lo es la utilización de suelo. La descoordinación de las políticas

de expansión hace que las poblaciones se muevan a zonas aledañas generando derrames de crecimiento económico. Esto se evidencia en Baltimore, con la investigación de Towe et al. (2017).

Esto también puede implementarse en el análisis agro económico. Por ejemplo, en Países Bajos se estudiaron los beneficios de la diversificación de la actividad económica. Evidenciando que, las comunidades más pequeñas con vecinos dedicados a diferentes actividades económicas generan una comunidad con cooperación e integración social, sin embargo, en términos de ganancias de la producción agrícola, estas se ven mermadas por la reducción de la producción a escala. (Vroege et al., 2020). Evidencia desde Irán, analiza los efectos en las variables económicas de la agricultura bajo escenarios de proyección climática. Con los cuales se caracterizaron efectos diferentes dependiendo de la zona climática, inclusive efectos positivos. No obstante, se evidenció la reducción de las ganancias de hasta el 51 % proyectándose hacia el 2050. (Malaekheh et al., 2024).

Considerando la literatura expuesta, el presente trabajo aporta al debate informado de la variabilidad climática en Ecuador mediante evidencia cuantitativa que caracteriza las afecciones del sistema agrícola tanto en su vegetación como en el uso de suelo, de manera específica en la cuenca del río Guayas y Esmeraldas. También aporta a la academia mediante la aplicación empírica del modelo de optimización de la estrategia agrícola cuando se expone a riesgos climáticos. Validando los conceptos de optimización de planes de producción ante expectativas climáticas. A través de este marco teórico, es viable caracterizar la vulnerabilidad climática de los agricultores de la cuenca del río Guayas y Esmeraldas a través de métodos econométricos.

También, produce un antecedente de evaluación en retrospectiva para caracterizar la modificación del suelo agrícola ante expectativas ex ante y ex post a eventos climáticos extremos. Inclusive, bajo un esquema diferente se puede proponer estimar el impacto sobre la vegetación de eventos como el ENOS en el país. De manera metodológica, este trabajo explota las mejoras de las tecnologías satelitales para responder preguntas locales a través de estimaciones econométricas orientadas a la actividad agrícola. También aporta una vía para responder preguntas de coyuntura agrícola ante las limitaciones de la información productiva agrícola existente.

CAPÍTULO III: MARCO TEÓRICO

En el marco de este estudio, se analizan los comportamientos de los agricultores de la cuenca del río Guayas y Esmeraldas frente a la exposición a eventos de precipitación extremos, como sequías e inundaciones. Con un enfoque particular en las estrategias de producción que estos adoptan cuando se enfrentan a condiciones adversas derivadas de la variabilidad climática de precipitaciones. De manera específica, el trabajo se enfoca en el uso de suelo agrícola medido en hectáreas y la salud vegetal medida en el índice de área de follaje (LAI, por sus siglas en inglés).

Sin embargo, es necesario repasar conceptos relevantes para elaborar el modelo teórico que sirve de guía para el análisis de este trabajo de titulación, es importante explorar y explicar conceptos relativos al clima, tales como: variabilidad climática, eventos climáticos extremos y cambio climático. Aunque estos fenómenos están interrelacionados, es crucial establecer sus diferencias y delimitaciones conceptuales para un estudio más preciso y riguroso.

La comprensión detallada de estos términos permite no solo una mejor interpretación de los fenómenos meteorológicos que afectan a una región, sino también una adecuada fundamentación para la toma de decisiones a nivel agrícola, político y social. Los fenómenos climáticos extremos, por ejemplo, no solo están relacionados con la meteorología, sino también con las ciencias sociales, ya que sus impactos afectan la seguridad alimentaria, la economía y el bienestar de la población. Especialmente, en países en vías de desarrollo como Ecuador, que se enfrenta a retos específicos debido a su geografía y su economía dependiente de la agricultura. En el ámbito académico y científico, se ha dado gran importancia a la distinción entre estos conceptos, ya que, aunque parecen similares, sus impactos y la forma en la que se manifiestan pueden ser diferentes, lo que requiere que se les aborde de manera individualizada y adaptada al contexto local.

Como se señala en los estudios de Matsa (2020), la variabilidad climática se refiere a los movimientos estacionales de los eventos climáticos, es decir, los cambios y fluctuaciones que ocurren dentro de un mismo año o entre años, que son parte natural de los sistemas climáticos globales. Este fenómeno tiene una enorme relevancia tanto para la agricultura como para la planificación urbana, ya que permite anticipar patrones y adaptarse a ellos de manera proactiva. En términos más amplios, la variabilidad climática se refiere a cómo las condiciones

climáticas fluctúan de un año a otro, lo que puede verse reflejado en patrones de lluvias, temperaturas, y la duración de las estaciones.

Un ejemplo claro de este fenómeno, sería la alteración en los períodos de las estaciones del año. Tales como el adelanto o retraso de las estaciones, detallándose así, en la duración anómala de las mismas. Lo que influye directamente en la duración de las épocas de cosecha o en los periodos agrícolas, que pueden ser más largos o cortos dependiendo del comportamiento climático de cada temporada. Esta variabilidad puede estar influenciada por varios factores, como las oscilaciones oceánicas, la actividad solar, o incluso los fenómenos atmosféricos a gran escala. En las zonas ecuatoriales como Ecuador, el fenómeno de la variabilidad climática es aún más notorio, ya que la fluctuación de la temperatura y la cantidad de precipitaciones pueden generar efectos no solo en los cultivos, sino también en la infraestructura de los pueblos y ciudades, afectando incluso las reservas de agua. Además, la variabilidad climática tiene el potencial de alterar el ciclo hidrológico de una región, lo que puede incidir directamente en la cantidad y distribución de las precipitaciones, un factor clave para la producción agrícola.

Por otro lado, Seneviratne et al. (2012) ofrecen una definición útil sobre los eventos climáticos extremos, refiriéndose a ellos como aquellas observaciones específicas que representan un valor anómalo o atípico de una variable climática, lo cual indica un comportamiento fuera de los patrones o rangos esperados dentro de las condiciones climáticas normales. Es decir, los eventos extremos no solo son poco frecuentes, sino que ocurren fuera de las expectativas basadas en la variabilidad climática histórica. Estos eventos pueden clasificarse de diversas maneras dependiendo de su naturaleza, intensidad e impacto, tal como lo subraya Sivakumar (2020), quien destaca que tales eventos son de vital importancia para la comprensión del clima y sus efectos sobre las actividades humanas y naturales. Los eventos climáticos extremos, aunque no ocurren con la frecuencia de las variaciones estacionales, son capaces de producir alteraciones más drásticas e inmediatas, como el colapso de sistemas de infraestructura, desplazamientos masivos de población, y afectaciones severas a la salud pública debido a los aumentos repentinos de temperaturas o a fenómenos como inundaciones. En estos eventos, la magnitud y la rapidez con la que ocurren les da una capacidad destructiva que puede cambiar por completo las condiciones socioeconómicas de una región.

Los eventos climáticos extremos son una de las principales preocupaciones para las políticas de gestión de riesgos en muchas regiones del mundo. Su frecuencia e intensidad están

aumentando debido al cambio climático, lo que plantea nuevos retos para la sostenibilidad de los sistemas agrícolas, la infraestructura, y la vida cotidiana de las comunidades afectadas. En términos de clasificación, los eventos climáticos extremos pueden dividirse en dos categorías principales: meteorológicos y climáticos. Los eventos meteorológicos extremos incluyen fenómenos de corta duración, pero alta intensidad, tales como tormentas severas, tornados, granizadas o ráfagas de viento extremadamente fuertes (Zhang y Yang, 2020). Estos eventos pueden ocurrir de manera repentina, sin mucho tiempo de anticipación, lo que dificulta la preparación y la prevención. Los ciclones y tormentas tropicales, por ejemplo, suelen desarrollarse rápidamente y traer consigo lluvias torrenciales, vientos destructivos, y mareas altas que pueden devastar ciudades enteras en cuestión de horas. La capacidad de estos fenómenos para alterar la vida cotidiana en tiempo real hace que su gestión sea uno de los principales desafíos de los gobiernos, especialmente en zonas vulnerables como las costeras o aquellas cercanas a fuentes de agua. Además, el costo económico de los daños derivados de estos eventos meteorológicos extremos puede ser astronómico, lo que obliga a los países a revisar sus políticas de prevención y respuesta ante desastres.

Bajo otro concepto, los eventos climáticos extremos también pueden ser de naturaleza más persistente y prolongada, como olas de calor o frío intensas y sostenidas, sequías prolongadas, y lluvias intensas y prolongadas (Peterson et al., 2013). Estos eventos, a menudo, tienen un mayor impacto a largo plazo sobre los ecosistemas y las sociedades humanas debido a su duración y magnitud. Por ejemplo, las sequías prolongadas pueden afectar gravemente la disponibilidad de agua, lo que no solo afecta la agricultura, sino que también puede generar conflictos por los recursos hídricos. Las olas de calor intensas pueden ocasionar una gran mortalidad entre la población vulnerable, además de exacerbar los problemas de salud pública. Por otro lado, las lluvias intensas pueden causar inundaciones, deslizamientos de tierra, y una serie de otros desastres naturales, lo que pone a prueba las infraestructuras de las ciudades y afecta la seguridad alimentaria de la población. Los impactos de estos eventos extremos no solo se sienten a nivel inmediato, sino que sus efectos a largo plazo pueden modificar profundamente la estructura económica de una región.

Además, los eventos extremos pueden clasificarse según el elemento climático afectado. Por ejemplo, los eventos hidrometeorológicos extremos, como las lluvias torrenciales, las inundaciones repentinas y las crecidas de ríos, son fenómenos que resultan de la interacción

entre la atmósfera y los cuerpos de agua, y que pueden tener efectos devastadores sobre las infraestructuras y las comunidades (Ledger y Milner, 2015). Estos eventos son particularmente peligrosos porque suelen ocurrir rápidamente, lo que limita el tiempo de respuesta de las autoridades y la población. Las inundaciones y crecidas repentinas, por ejemplo, pueden ocurrir dentro de un lapso de horas o incluso minutos, causando pérdidas humanas y materiales significativas. En el contexto ecuatoriano, los ríos de la región amazónica y andina son propensos a este tipo de eventos debido a las variaciones estacionales de las precipitaciones y al aumento de los caudales, lo que pone en riesgo a miles de personas en comunidades rurales y urbanas cercanas.

En cuanto a los pisos climáticos, estos han sido objeto de estudio en regiones con suelos heterogéneos, como lo indican Posada-Suárez y Läderach (2013), quienes los definen como distintas zonas de terreno utilizadas para el cultivo, clasificadas según su elevación respecto al nivel del mar. Esta categorización resulta fundamental para la agricultura, ya que la altitud y las condiciones climáticas asociadas a los pisos climáticos determinan qué tipos de cultivos pueden prosperar en determinadas regiones. Esta clasificación no solo tiene un impacto directo sobre los cultivos, sino que también afecta la biodiversidad y la distribución de especies animales y vegetales que se encuentran adaptadas a las condiciones particulares de cada piso climático. Los estudios sobre pisos climáticos son esenciales en países como Ecuador, donde la variabilidad climática se manifiesta en las distintas zonas geográficas de la Sierra, la Costa y la Amazonía, y donde los patrones de precipitación y temperatura pueden variar drásticamente en función de la altitud.

En cuanto a las cuencas hidrográficas, Sabo y Hagen (2012) explican que estas áreas geográficas son cruciales para la gestión de los recursos hídricos, ya que actúan como grandes colectores de agua de lluvia, canalizándola hacia un río o sistema fluvial. Este proceso natural es significativo, no solo para el ciclo hidrológico, sino también para la supervivencia de las comunidades humanas y ecológicas que dependen de estas fuentes de agua. Las cuencas hidrográficas determinan la disponibilidad y calidad del agua para diversos usos, tales como el riego agrícola, el consumo humano, la generación de energía hidroeléctrica y otras actividades productivas. En este contexto, las cuencas no solo son elementos físicos del paisaje, sino también factores que inciden directamente en la planificación y la gestión ambiental. Así, su manejo adecuado es indispensable para garantizar el equilibrio ecológico y las necesidades de

desarrollo en las áreas que dependen de ellas. La gestión sostenible de estas cuencas es esencial para prevenir la escasez de agua y los desastres naturales asociados con su alteración, como inundaciones y sequías, que pueden resultar devastadoras para las economías locales y la biodiversidad.

Por otro lado, el fenómeno de El Niño, un evento climático de variabilidad interanual, ha tenido impactos notoriamente significativos en Ecuador, tal como lo afirman Arteaga, Tutasí y Jiménez (2006). Este fenómeno se caracteriza por la presencia de temperaturas oceánicas anormalmente altas, las cuales persisten durante tres meses consecutivos. Este calentamiento de las aguas del océano Pacífico altera profundamente los patrones climáticos a escala global, especialmente en América Latina, y Ecuador no ha sido ajeno a los efectos de este fenómeno. Los eventos de El Niño, aunque impredecibles en su magnitud, tienen la capacidad de transformar de manera drástica los climas locales, afectando no solo las temperaturas, sino también los regímenes de precipitaciones. En el caso específico de Ecuador, los eventos más devastadores ocurrieron en los años 1982 y 1997, cuando el fenómeno de El Niño causó graves sequías en algunas regiones del país y, en otros momentos, lluvias torrenciales que provocaron inundaciones de gran escala. Estos desastres naturales no solo impactaron negativamente la producción agrícola, sino que también afectaron la infraestructura y los ecosistemas del país, generando pérdidas económicas considerables y complicaciones en la seguridad hídrica. La variabilidad de estos eventos hace que su preparación sea un desafío constante para las autoridades ecuatorianas, quienes deben anticiparse y mitigar los efectos adversos del fenómeno para proteger la economía nacional y el bienestar de la población.

La toma de decisiones en situaciones de incertidumbre, como las que generan los fenómenos climáticos extremos, es una dimensión crucial del comportamiento agrícola. Desde una perspectiva teórica, Khosravi y Boshraadi (2018) proponen que la economía agrícola puede modelarse mediante un individuo representativo que optimiza su función de producción, tomando en cuenta las limitaciones en recursos y mano de obra disponibles. Este enfoque ayuda a comprender cómo los agricultores ajustan sus prácticas productivas en respuesta a las condiciones cambiantes del clima. En particular, los cambios en la temperatura, las precipitaciones y los eventos extremos pueden alterar la planificación agrícola, forzando a los productores a adaptarse a nuevas realidades para salvaguardar su productividad y maximizar sus ingresos. Este marco teórico permite examinar las decisiones de los agricultores ante la

incertidumbre generada por los eventos climáticos extremos, lo cual es esencial para evaluar la resiliencia del sector agrícola frente a estos desafíos.

Los eventos climáticos extremos se presentan, por tanto, como una fuente de estrés para los agricultores, como señala Vanderheiden (2004). Esta fuente de estrés aumenta la incertidumbre que enfrentan los productores, lo que interfiere con la implementación de los planes de producción establecidos previamente. Ante situaciones de incertidumbre, los agricultores se ven obligados a modificar sus estrategias y desarrollar nuevas formas de adaptación. La habilidad para adaptarse a las condiciones adversas es crucial, ya que permite a los agricultores mitigar los efectos negativos de los fenómenos climáticos y preservar su capacidad productiva. Sin embargo, la falta de certeza sobre la naturaleza y la magnitud de los eventos extremos dificulta aún más la toma de decisiones informadas, lo que lleva a una mayor vulnerabilidad del sector agrícola.

En ausencia de información clara sobre la decisión óptima a tomar, los agricultores tienden a experimentar una reducción en su producción, dado que la incertidumbre y el riesgo asociado a los eventos climáticos extremos pueden generar una parálisis en la toma de decisiones. Según Antón et al. (2013), esta situación demanda el uso de “instrumentos de gestión de riesgos agrícolas”, los cuales buscan reducir la incertidumbre y las distorsiones en las estrategias de los agricultores. Estos instrumentos permiten a los productores gestionar los riesgos climáticos de manera más eficiente, proporcionando herramientas para enfrentar las fluctuaciones impredecibles del clima. La implementación de estas herramientas puede contribuir a una mayor estabilidad en la producción agrícola, ayudando a los agricultores a adaptarse mejor a las condiciones extremas y a garantizar la seguridad alimentaria en el país.

Dentro de este contexto, la restricción presupuestaria juega un papel crucial. Los agricultores deben tomar decisiones dentro de los límites de sus recursos disponibles, lo que significa que no solo deben maximizar su producción, sino también minimizar los riesgos asociados a eventos climáticos extremos. En este sentido, Assefa y Yimam (2020) destacan la importancia de tomar decisiones que optimicen los rendimientos, pero que también consideren las posibles pérdidas derivadas de condiciones climáticas desfavorables. Los agricultores deben buscar un balance entre la rentabilidad y la seguridad de sus prácticas productivas, lo que implica evaluar constantemente los riesgos climáticos y adaptarse a ellos de manera proactiva.

A lo largo de este trabajo, se subraya la relevancia de la intervención del gobierno y de las políticas públicas en el proceso de adaptación de los agricultores a los eventos climáticos extremos, que están aumentando en frecuencia e intensidad debido al cambio climático. Las políticas públicas, cuando son adecuadamente diseñadas e implementadas, tienen el potencial de jugar un papel clave en la creación de un entorno propicio para que los agricultores puedan adoptar prácticas agrícolas más resilientes y sostenibles frente a los desafíos que implica el cambio climático. Estas políticas no solo deben ser una respuesta a los efectos inmediatos de los fenómenos climáticos extremos, sino que deben actuar a largo plazo, contribuyendo a la construcción de una infraestructura agrícola más sólida y capaz de soportar la variabilidad climática.

En este sentido, la implementación de medidas de apoyo se presentan como elementos esenciales para reducir las pérdidas económicas. Tales como la provisión de subsidios para contratar seguros agrícolas que protejan a los agricultores frente a pérdidas por desastres naturales. También, la creación de programas de capacitación y sensibilización sobre la gestión de riesgos climáticos, así como la promoción activa de tecnologías agrícolas más resistentes al clima. Estas acciones pueden fortalecer la capacidad de los agricultores para enfrentar las adversidades climáticas, mejorando significativamente la resiliencia del sector agrícola en su conjunto. De esta manera, no solo se protege la estabilidad económica de los agricultores, sino también el abastecimiento alimentario y el desarrollo económico general de las naciones.

En última instancia, las políticas públicas deben ser concebidas como un facilitador y un catalizador para asegurar que los agricultores no solo puedan adaptarse con éxito a las nuevas condiciones climáticas, sino que también puedan continuar con su labor productiva de manera sostenible, contribuyendo activamente al desarrollo económico del país. Las políticas deben estar orientadas a garantizar que los cambios necesarios en las prácticas agrícolas no se perciban como una carga, sino como una oportunidad para mejorar tanto la productividad como la sostenibilidad del sector agrícola, asegurando que la adaptación al cambio climático sea una parte integral del proceso de desarrollo económico y productivo.

CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA

Utilizando la metodología de Ji y Cobourn (2021), podemos adaptar un modelo econométrico de panel dinámico que permita estimar los impactos en la estrategia agrícola en expectativas a futuro y en aprendizaje ex post a shocks climáticos. Lo cual compone un enfoque empírico que es factible para ambos objetivos específicos del presente trabajo. Para esto, la unidad de observación serán grillas espaciales de 5 km x 5 km a nivel de las cuencas del río Guayas y Esmeraldas, las cuales recompilan información productiva espacial, riesgo climático y exposición a shocks climáticos como precipitaciones extremas y sequías. Las variables de dependientes se caracterizan del siguiente modo:

$$\begin{cases} ALU, 0 < y_1 < 1. \\ LAI, 0 < y_2 < 7. \end{cases}$$

Dado que el uso de suelo agrícola (ALU) se estima usando el ratio de suelo agrícola para el total del área del grid, por construcción, está limitado entre 0 y 1. Mientras que, el Leaf Area Index (LAI) es un parámetro de salud vegetal, construido mediante estimaciones de reflectancia. El cual, por construcción, es un índice continuo entre 0 y 7. Para el uso de suelo agrícola (ALU), se toman los datos de cobertura de suelo de MapBiomass Ecuador, mientras que para el LAI se toman los datos del Copernicus Land Monitoring Service (CLMS) (Baret et al., 2016). Ambas colecciones entre 2014 y 2019. Las variables explicativas principales del modelo serán las precipitaciones extremas que se estiman mediante la precipitación diaria total, proveniente del Climate Data Store (CDS) del Copernicus Climate Change Service (C3S) (C3S, 2024). Utilizando el umbral de Climact, se define que las precipitaciones extremas son aquellos días con lluvias mayores a 20 mm. Las precipitaciones altas se caracterizan entre 10 y 20 mm de lluvia, mientras que los días sin lluvias son los menores a 1 mm. De este modo, se generan contadores de exposición para shocks climáticos de precipitación como proxies de inundación y de sequías. El conteo de noches cálidas se estima mediante el TN90p, según Climact (2025), es un indicador que utiliza como umbral el percentil 90 de temperaturas nocturnas entre 1960 y 1990. Generando así una variable de control, que permite considerar el cambio climático de temperaturas en el ambiente.

El vector de controles individuales caracteriza a la unidad productiva por diferentes atributos como piso climático, definido en cada 500 metros sobre el nivel del mar (Portilla-

Farfan, 2018); riesgo de inundación, definido según el MAATE (2021); Propiedades físicas del suelo, definidas por el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) en el 2019; definición política por Provincia y Cantón, según el mapa político de Global Administration (2019); cuenca hidrográfica, definida por el mapa de hidrología de la Universidad del Azuay (UDA, 2015).

Las cuencas de los ríos Esmeraldas y Guayas presentan condiciones naturales semejantes en el presente, pero con diferencias remarcadas en las proyecciones climáticas hasta el 2040 (MAATE, 2022). Donde el río Guayas presenta variabilidades más fuertes con escasez de agua más prolongada y el río Esmeraldas se proyecta con caudales menores al promedio histórico todo el año, incluso en los pronósticos más extremistas. Es por eso y por su alta participación dentro de la producción agrícola, que se propone como áreas naturales de estudio, las cuales presentan condiciones climáticas y productivas semejantes.

Como se explicó anteriormente, la presencia del ENOS es un factor importante para la variabilidad climática, permitiendo así que su predicción genere expectativas en la agricultura. Por eso, su definición de si es un año con ENOS es una variable para tomar en consideración. Esto se captura mediante el ONI del NWS, generando así una variable dicotómica para el año en cuestión, que adquiere el valor de 1 si en dicho año el ONI indica temperaturas altas de manera sostenida durante 5 periodos consecutivos. Con la información detallada, la modificación de las estrategias de producción a través del cambio de uso de suelo (de manera anual) y las afecciones sobre la vegetación agrícola (de manera semestral) se miden bajo la siguiente especificación:

$$y_{i,t} = \sum_1^T \theta_s^1 PE_{i,t-s} + \sum_1^T \theta_s^2 DP_{i,t-s} + \sum_1^T \theta_s^3 PA_{i,t-s} + \sum_1^T \theta_s^4 ENSO_{i,t-s} + Tn_t + X_i\beta + v_i + w_t + \varepsilon_{i,t}$$

Dónde y son las variables dependientes de ALU y LAI, i es la unidad espacial, t es el periodo de tiempo (anual para el ALU, semestral para el LAI) que va desde 2014 hasta 2019. Las precipitaciones Extremas se recogen en PE, las precipitaciones altas en PA, los días sin precipitaciones se representan en DP, ENSO es la variable dicotómica de fenómeno del niño construido por el ONI, como control se especifican las noches cálidas Tn, las variables fijas

como tipo de suelo, piso climático y riesgo a inundación, asociadas a cada unidad espacial están recogidas en X_i y el término de error del modelo será $\varepsilon_{(i,t)}$. De este modo, un análisis de efectos dinámicos es viable mediante la comparación de los $\theta_{(t-s)}^k$ ya que recogen los efectos temporales de los shocks de precipitación sobre las variables de producción agrícola. Como los efectos son recogidos tanto en lags como en leads, permiten capturar los efectos de anticipación como de sensibilidad generando un análisis ex ante y ex post a los shocks climáticos.

Para garantizar la mejor selección de momentos en el modelo de panel dinámico, se debe buscar el número de rezagos que minimice el RMSE ya que a diferencia de los modelos longitudinales la autocorrelación se elimina al momento de tomar efectos fijos individuales (Okui, 2004). Además, el cambiar la metodología de lags a leads, propone un cambio de enfoque en la motivación, proponiendo un análisis de anticipación, si estos efectos dinámicos existen hay adaptación previa (Ji y Cobourn, 2021). Para ambas variables de resultados, se plantea el mismo modelo de análisis de efectos dinámicos. El cual no puede ser presentado en la misma escala temporal, dado que el uso de suelo se reporta anualmente y que el LAI 3 veces al mes. Esto nos obliga a generar dos paneles espaciales diferentes.

El primero agrega la información del LAI en promedio, como de las variables climáticas en acumulación, por época climática. La estación húmeda se compone de diciembre del año anterior hasta mayo del año en curso, y desde junio del año en curso hasta noviembre se define la época seca. Esto nos permite generar un análisis de efectos heterogéneos mediante la comparación de grupos por pisos climáticos como por riesgo de inundación. El segundo, agrega la información anual por etapas, generando así que por observación se tenga el ratio de uso de suelo ALU en el año en curso, tomando como variables explicativas los shocks de precipitación y ENOS, como leads y lags anuales, dónde por año se recogen las variables mediante época climática. Esto permite generar un enfoque de efectos heterogéneos de shocks de precipitación por piso climático y por tamaño de unidad productiva.

Una vez planteados ambos enfoques, los efectos dinámicos para grupos específicos se calculan como los marginales de las interacciones entre los indicadores de estrés hídrico por precipitaciones y los grupos definidos. En este trabajo de titulación se estudiarán los grupos por piso climático y concentración de actividad agrícola en el caso del estudio de la salud vegetal, mientras que para el caso de la estrategia agrícola se utilizará el piso climático y el riesgo a inundaciones.

Este cambio se debe a la naturaleza de la variable a predecir, ya que en el primer enfoque el uso de suelo agrícola (ALU) es un control dentro de la modelación, mientras que en el segundo enfoque es la variable dependiente. De este modo, las evoluciones de los efectos dinámicos estimados permiten capturar cómo diferentes grupos de agricultores modifican sus patrones productivos a través del uso de suelo (Burke y Emerick, 2016), y cómo la exposición a los shocks afecta de manera inmediata a los cultivos a través del LAI. Así, se caracterizan las modificaciones en la estrategia agrícola del agricultor de la cuenca de los ríos Guayas y Esmeraldas que son causados mediante los shocks de precipitación.

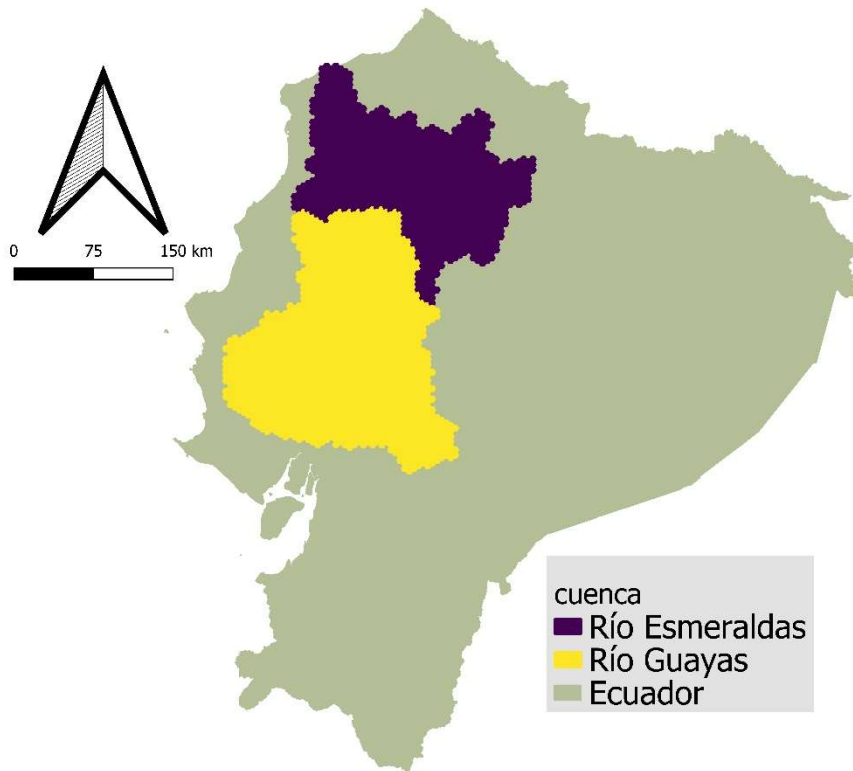
CAPÍTULO V: DATOS

V.1 Recolección

Dado que el objetivo de investigación del presente trabajo de titulación consiste en evaluar como la exposición a eventos climáticos extremos modifica a la agricultura desde su estrategia productiva hasta su actividad cotidiana en Ecuador, es necesario caracterizar el impacto actual de los eventos climáticos extremos para proyectar una idea ante el cambio y variabilidad climática inminente.

Para aumentar la precisión y magnitud del estudio se utilizan sistemas de información georreferenciados (GIS). Con esto, la referencia básica para el presente proyecto será el mapa geográfico y político de Ecuador desagregado a nivel parroquial, que se obtuvo de Global Administration (GADM v2.8). Las cuencas hidrográficas corresponden a fronteras naturales para las grandes extensiones agrícolas, ya que condicionan a estudiar terrenos con la misma fuente de agua y condiciones silvestres semejantes (Araque, 2019). Con el fin de organizar las zonas agrícolas por cuenca hidrográfica, se utiliza el mapa de hidrografía del portal de Información Espacial del Ecuador de la Universidad del Azuay (2022). Para una representación gráfica apropiada, se grafica el área estudiada de las cuencas de los ríos Guayas y Esmeraldas en la Figura V.1.

Figura V.1: Ubicación de las cuencas hidrográficas de los ríos Guayas y Esmeraldas.

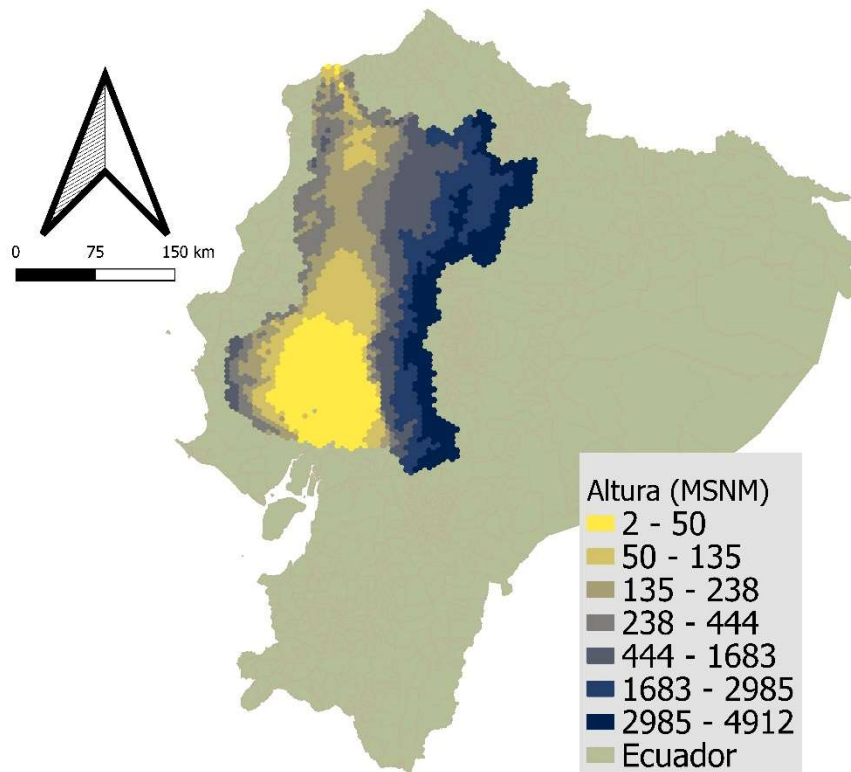


Fuente: Elaborado por el autor

La altura sobre el nivel del mar es un factor que permite identificar pisos climáticos, los cuales afectan de diferente forma a la producción y condicionan los tipos de cultivos que pueden crecer en dichas zonas (Portilla-Farfan, 2018). Por eso, se utiliza el mapa de elevación digital (DEM) del CLMS, que es un raster con una resolución espacial de 30 m x 30 m, lo que permite caracterizar el componente de altura cada 50 metros a las unidades espaciales diseñadas. La representación visual de esta información se encuentra en la Figura V.2.

Figura V.2: Mapa de altura en metros sobre el nivel del mar (msnm), para el área estudiada.

Fuente: Elaborado por el autor



Caracterizar la actividad agrícola es fundamental para la precisión de la estimación de efectos del estudio. Con este fin, existen múltiples colecciones de datos espaciales. Por ejemplo, El MAG a través de la Secretaría de Información Productiva Agrícola (SIPA) publica desde el año 2014 mapas de producción estimada, a una escala de 1:25.000, para los cultivos de arroz y maíz. Con el paso de los años, han ido implementando esta estrategia para múltiples cultivos como el banano a partir de 2019 o manzana en 2023.

A pesar de que, los mapas proporcionan información de etapas de cultivo anuales y sus meses de duración, estas ubicaciones son estimadas con aproximaciones espaciales, lo cual le resta precisión tanto espacial como temporal. Además, no son áreas exclusivas por cultivo, lo que limita la precisión al identificar que cultivos se producen en cada espacio geográfico. Esto se evidencia más cuando representamos geográficamente los mapas de múltiples cultivos, habiendo espacios donde coinciden estas representaciones.

Otra fuente de producción agrícola es la Encuesta de Superficie y Producción Agrícola Continúa (ESPAC) que se publica anualmente por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) que reporta información de cultivos transitorios, permanentes, uso de suelo y producción agrícola. Su diseño de encuesta de marcos múltiples genera estimaciones ponderadas por tamaño de productor a través de factores de expansión (ANDA, 2022). Lo cual, complica la agregación de información espacial por unidad productiva agrícola. Cumpliendo validez estadística a nivel de parroquia, lo que limita el nivel de sensibilidad del análisis.

Considerando que los mapas de estimación presentan sus limitaciones para identificar cambios de estrategia productiva y que la ESPAC no permite hacer análisis desagregados a nivel espacial. El enfoque de estudio se debe restringir, ya que no es factible analizar efectos de exposición a eventos extremos climáticos tanto para el cambio estratégico de especies agrícolas como para los efectos directos sobre la producción o productividad agrícola.

Sin embargo, hay dos criterios de seguimiento para caracterizar a la agricultura que permiten trabajar metodologías de análisis espacial de manera general. El primero es el Leaf-Area-Index (LAI), el cual es un índice de salud vegetal que permite caracterizar la naturaleza de los cultivos y de sus ciclos fenológicos, a través del área cubierta por hojas (Baret et al., 2016). El segundo es la cobertura y uso de suelo, que se genera estudiando imágenes satelitales que permitan identificar tanto actividad humana como vegetación silvestre (MapBiomass, 2024).

Centralizando el enfoque en el primer criterio, el LAI caracteriza la fracción de suelo que la copa de las plantaciones ocupa para realizar procesos fotosintéticos (Fang et al. 2019). Este índice ha tenido un aumento en su importancia para el análisis de la salud vegetal, ya que permite observar el comportamiento de los cultivos a través de una serie de tiempo, además de que permite caracterizar la producción agrícola (Baret et al., 2016). Por ejemplo, Jegó et al. (2012) generó un modelo de predicción de biomasa y cosecha utilizando el LAI para maíz, soya y trigo. También Baez-Gonzalez et al. (2005) consiguió estimaciones muy precisas de la cosecha de maíz a través de la medición del LAI como predictor principal.

Más recientemente, Dong et al. (2020), evaluó como el LAI predice la biomasa seca, que es otro indicador de productividad agrícola, llegando a predicciones bastante cercanas de la biomasa ($\pm 135 \text{ g/m}^2$) para seis cultivos, indicando además que es óptimo categorizar por etapas fenológicas, cultivos y particionamiento de la biomasa.

Por lo que, utilizar el LAI para entender cómo la exposición a eventos extremos climáticos afecta a la producción agrícola se vuelve un enfoque viable para responder la pregunta de investigación. Así, se utiliza la colección del LAI a 300 m x 300 m a nivel global, evaluado cada 10 días desde el 2014 hasta el 2019 proveniente del CLMS. Este índice se presenta en una escala del 0 al 7 y proviene de imágenes de longitud de onda satelitales.

Enfocándonos en el segundo criterio, la cobertura y uso de suelo, se permite identificar los espacios que componen movimientos humanos y cómo la transformación antropogénica está afectando espacios naturales (CLMS, 2016). Por ejemplo, estos mapas permiten estudiar los procesos de deforestación, de afectación por incendios forestales, además de los procesos de expansión de áreas agrícolas o urbanos.

Los espacios agrícolas se identifican a través de mosaicos de producción extensiva en imágenes satelitales. Por ejemplo, existe el mapa Corine que es una metodología que permite estudiar ubicación de áreas agrícolas por tipo de cultivo permanente, arbustivo, rotativo, entre otros. De manera específica, este tiene una periodicidad aproximada de 6 años y es una metodología que comenzó en Europa en 1990. El Corine es desarrollado actualmente por el CLMS, cuya última actualización disponible es del 2018 y sólo para Europa. Más aún, ya existen versiones adaptadas en Colombia desde el 2010.

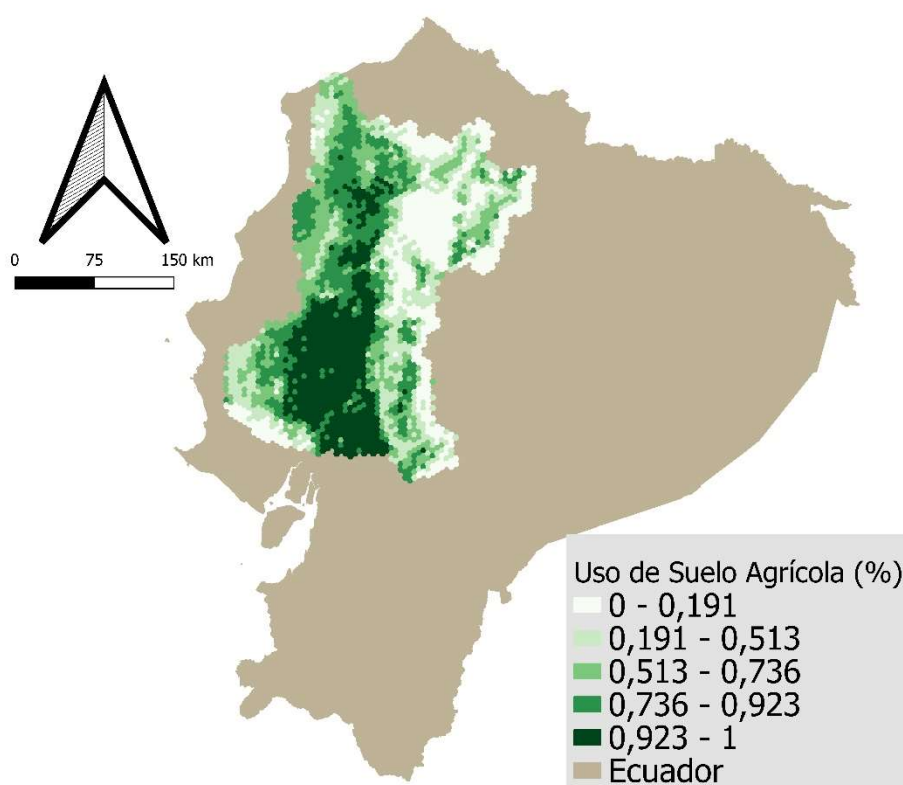
Un proyecto más joven es RAISG-MapBiomass (2024), el cual permite estudiar los procesos antropológicos en la Amazonía (sin importar fronteras) a detalle. Su producto más detallado es el mapa de uso de suelo de la Amazonía v6.0 el cual permite el estudio de uso y cobertura de suelo a través de las áreas agrícolas detalladas por cultivo específico, áreas protegidas, bosques nativos, poblaciones urbanas, entre otras categorías.

Este proyecto ofrece el mapa de uso y cobertura de suelo anual para Ecuador (continental e insular) desde 1985 hasta 2022, a una resolución espacial de 30 m x 30 m. Este mapa identifica áreas agrícolas como mosaico general, por lo que, a pesar de que no permite identificar la actividad por cultivo, permite estudiar el comportamiento agrícola de manera agregada. También permite identificar áreas urbanas, de minería, bosques tropicales, manglares, bosques secos, glaciares, ríos y muchas categorías más. En la Figura V.3 se observa la representación del uso de suelo agrícola en las áreas de estudio.

Dos factores climáticos importantes para la producción agrícola son las temperaturas y las precipitaciones. Como el objetivo principal de este trabajo de titulación es el estudio de

sensibilidad ante eventos extremos de precipitación, se van a considerar solamente los datos de lluvias diarias. Con este propósito, se utilizan los datos de precipitación total diaria de la colección de datos diarios a nivel, de reanálisis desde 1940 hasta el presente, provenientes del C3S, que tiene una resolución espacial de $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ y que cubre todo el globo terráqueo, por lo que se permite recortar para Ecuador.

Figura V.3: Mapa de calor de uso de suelo agrícola para el año 2016 en el área de estudio, según MapBiomias Ecuador.



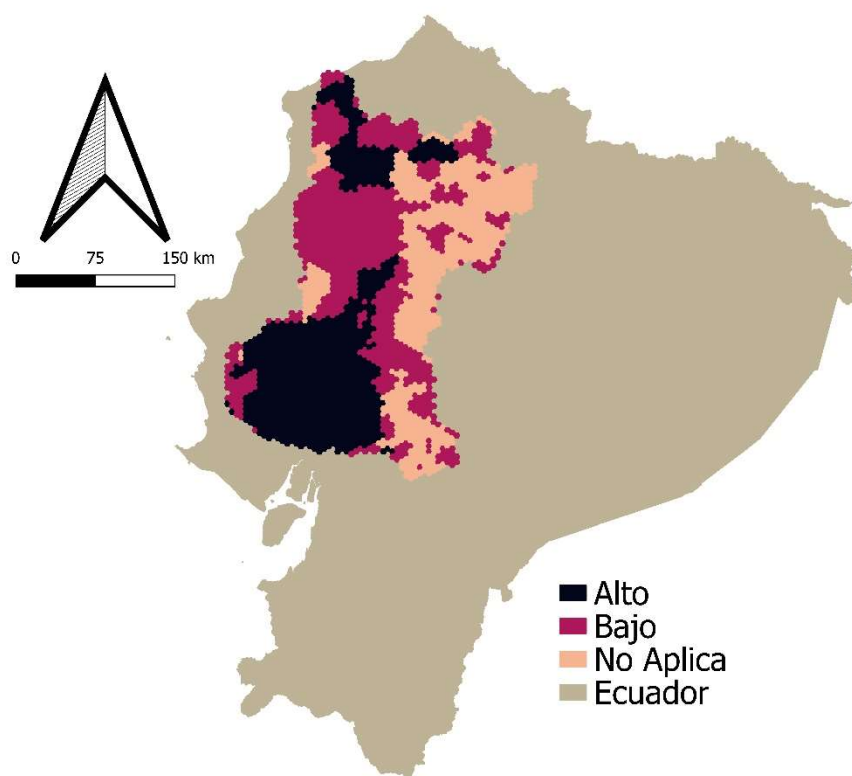
Fuente: Elaborado por el autor

Siguiendo la metodología para estudiar eventos climáticos extremos desarrollada por Climpect, se computan indicadores de lluvia extrema (RM) y de días consecutivos sin precipitaciones (CDD). El indicador consensuado de lluvias fuertes es >10 mm diarios, del mismo modo el umbral que utiliza Climpect para definir lluvias extremas es >20 mm diarios. Por otro lado, se consideran los días sin precipitación a los que presenten lluvias menores a 1 mm, según la norma de Climpect.

Al igual que los pisos climáticos definen vegetación nativa, también definen potencial de riesgos ante eventos climáticos extremos. Por eso, se utilizan los mapas de riesgo agroclimático para sequías, inundaciones y heladas desarrollados por el MAG en el 2022, los cuales categorizan a nivel multi-sector la exposición, vulnerabilidad y amenaza climática a nivel cantonal para Ecuador. Estos tres componentes definen el Riesgo Climático, el cual es calculado por el MAG, y para el presente estudio utilizaremos la clasificación de riesgo de inundaciones para el sector agrícola. Su disposición geográfica se halla representada en la Figura V.4.

Específicamente, para justificar estudiar estas áreas de alto riesgo como regiones con estrategias agrícolas diferentes, se ha identificado que estas son las zonas con mayor presencia nacional de arroz y maíz. Estos cultivos recibieron planificación de seguros agrícolas, logrando asegurar cerca del 40 % de la producción en todo el país (SIPA, n.d.), además de planes de contingencia y ayuda humanitaria durante el fenómeno del niño del 2016. Para enfatizar, fuera de los cultivos de maíz y arroz, la adopción de seguros agrícolas, capacitaciones o planificación de contingencia climática son mínimos por parte de las autoridades de gobierno durante el periodo de estudio.

Figura V.4: Mapa de áreas de alto, bajo y sin riesgo de inundaciones para las áreas de estudio.



Fuente: Elaborado por el autor

El tipo de suelo que sostiene la actividad agrícola es importante, ya que sus propiedades físicas y químicas ayudan al soporte del crecimiento de especies específicas además de tener reacciones diferentes ante el estrés climático (Ferrera y Alarcón, 2001). Para considerar estas características se utiliza el mapa de aptitud de suelos agrícolas desarrollado por el MAG en 2019.

V.2 Procesamiento

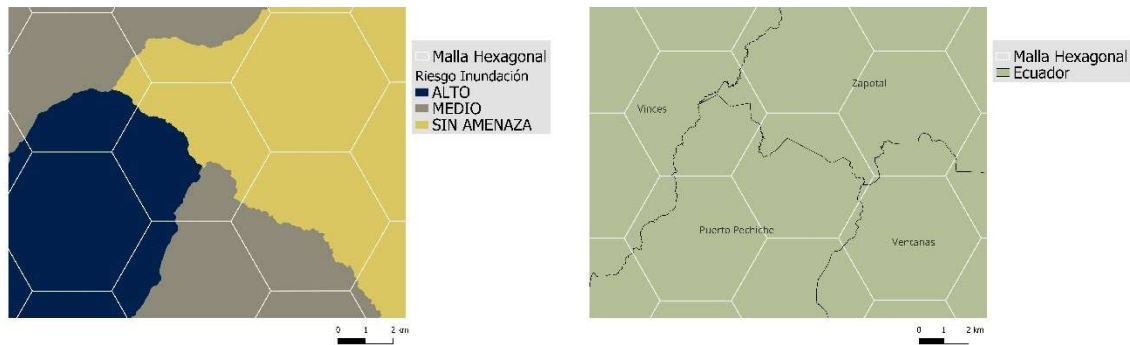
Homogeneizar la información espacial es fundamental para poder desarrollar el presente proyecto, lo cual requiere de una tarea de análisis y procesamiento de datos a través de diferentes software como: QGIS, para la georreferenciación y operaciones de estadística espacial; R para el trabajo de combinación de bases de datos, análisis de datos de panel,

evolución de series de tiempo; finalmente, de STATA, para la estimación de modelos econométricos.

Como primer paso, se generó una malla de hexágonos de 5 km x 5 km que recubre toda la extensión de las cuencas hidrográficas de los ríos Esmeraldas y Guayas. Por poder computacional y eficiencia de cobertura espacial, esta especificación permite mantener una perspectiva completa de la variabilidad tanto agrícola como climática. Otros estudios de variabilidad climática han usado la misma resolución como Caloiero et al. (2021) y Prein y Gobiet (2017). Estos polígonos tienen un identificador único, al cual, a través de una unión espacial, se le asignan los valores coincidentes de mayor ocupación, de división política (provincia, cantón, parroquia) y de riesgo climático. Así representamos dos posibles caracterizaciones naturales: la primera por cuenca hidrográfica y la segunda por riesgo climático. Un ejemplo del procedimiento georreferenciado se halla en la ***Figura V.5***.

Para analizar la información climática, se proyectaron las celdas hexagonales y se calculó el promedio espacial diario de los píxeles de rasters de precipitaciones. Este es el valor de precipitación diaria en metros, para transformarlo a milímetros se multiplica por 1000 el valor estimado y se calculan las dos condicionales en forma de variables booleanas. Si la precipitación en el día es >20 mm, se asigna 1 a la variable lluvia extrema. Con precipitaciones >10 mm y menores a 20 mm, se clasifican como 1 en precipitaciones altas. Si la precipitación es <1 mm, se asigna el valor de 1 a días sin precipitación. También como control del cambio climático, se estimó el TN90p que indica si la temperatura promedio nocturna fue mayor al percentil 90 de los valores históricos. Generando así una variable dicotómica con valor 1 si la temperatura nocturna fue más cálida que el valor histórico. Para este proceso se usa la colección de temperatura diaria del C3S, con rasters a resolución de $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$.

Figura V.5: Representación visual del análisis georreferenciado



Fuente: Elaborado por el autor

Para homogeneizar los valores anuales de uso de suelo, se hace una proyección de las celdas sobre los rasteres anuales de MapBiomass y se hace un histograma zonal para conseguir el total de área de la celda cubierta por áreas agrícolas. Con eso se generan tres variables: *agrícola*, que es el total de conteo de píxeles dentro de la celda que representan áreas agrícolas; *usoagr*, es la transformación en hectáreas del uso de suelo agrícola; *perc_agr*: es el porcentaje de suelo de las celdas que se destina a agricultura; *var_agr*: es la variación interanual en hectáreas del uso de suelo agrícola. Esto nos permite caracterizar unidades geográficas por concentración de espacio agrícola, al igual que estudiar cambios de uso de suelo.

Para homogeneizar los rasteres únicos, se proyectó el mapa de grillas sobre los mapas de píxeles y se calculó el promedio espacial del mapa de altura del DEM para obtener la altura promedio de las celdas. Así mismo, se realizó un histograma zonal para tabular el total de las celdas que es cubierto por el tipo de suelo de acuerdo con el mapa de aptitud de suelos del MAG. Esto permite condicionar por características físicas del suelo y topográficas como el piso climático.

Sin embargo, como la pregunta de investigación es respondida con mayor precisión cuando se exploran los comportamientos agrícolas desde el área de suelo productivo y de los efectos directos sobre la vegetación. Se proponen dos diseños agregados: el primero permite analizar la dinámica agrícola dimensionando los efectos biofísicos de la vegetación y el segundo estructura el análisis desde la interpretación espacial de las estrategias agrícolas.

Cumpliendo con ambos objetivos, se genera un identificador de época climática húmeda (diciembre - mayo) y seca (junio – noviembre), lo que permite estructurar las variables de interés y explicativas dentro de un agregado bianual distribuido por época climática. También, el panel espacial permite identificar a las unidades de estudio por cuenca hidrográfica o por nivel de riesgo a inundaciones. Además, permite identificar niveles productivos por concentración agrícola y por piso climático definido cada 500 metros (Arenque et al. 2019).

Para homogeneizar la información de las imágenes satelitales referentes a salud vegetal y condiciones climáticas, se realizó una media espacial de las celdas hexagonales sobre los rasters. De modo específico, se hizo un promedio cada 10 días (tres veces al mes) desde el 1 de enero de 2014 hasta el 30 de noviembre del 2019. Esto permitió generar un compilado del LAI y de las variables de precipitación.

De este modo se puede construir un panel espacial identificando los individuos como las grillas hexagonales, y el componente temporal es representado en tiempo calendario. Los valores diarios de precipitación extrema y días sin precipitaciones son agrupados dentro de intervalos trimensuales, los valores anuales de uso de suelo son indexados por identificador de la celda hexagonal y año calendario, además las características físicas del suelo son agrupadas como un valor único para cada identificador.

En el marco temporal, el panel espacial recolecta información desde enero del 2014 hasta noviembre del 2019. Durante todo este periodo, se caracterizó únicamente al ENOS del 2016 como extremo. A pesar de que en 2018 el National Weather Service (NWS) de Estados Unidos reportó un fenómeno del niño moderado-alto, en Ecuador no se lo consideró como una amenaza mayor a la época lluviosa convencional. Por lo que, no se consideraron planes de acción de prevención temprana, sino más bien acciones para solucionar consecuencias como desplazamiento de afectados o limpieza de carreteras (SNGR, 2019). Por lo que, para obtener una visión clara de la caracterización del fenómeno oceánico, se genera una variable de fenómeno del niño según el ONI.

Para abordar el primer objetivo secundario de este trabajo de titulación, se debe estudiar la dinámica de la salud vegetal. Como esta es cíclica, se promedió por etapa climática (húmedo y seco), de modo que por año se tienen 2 observaciones. Del mismo modo, para los indicadores de precipitaciones extremas, precipitaciones altas, días sin precipitación y noches cálidas se realizó una suma por época climática, ya que esta operación permite evidenciar los cambios en

la frecuencia de los eventos extremos. En la Tabla V.1 se evidencia el diccionario de variables para este enfoque, donde también se consideran controles de piso climático, tipo de suelo, uso de suelo agrícola.

Tabla V.1: Diccionario de variables del panel espacial del primer diseño

<i>id</i>	Identificador de grids
<i>value</i>	Leaf Area Index (LAI)
<i>perc_agr</i>	Uso de suelo Agrícola (%)
<i>extremo</i>	Días con precipitaciones extremas (>20 mm)
<i>alta_p</i>	Días con alta precipitación (>10 mm y ≤20mm)
<i>dias_sp</i>	Días sin precipitación (< 1mm)
<i>tn90p</i>	Temperatura Nocturna Alta (>90p histórico)
<i>fn</i>	Indicador del Fenómeno del Niño según el ONI
<i>rio2</i>	Cuenca Hidrológica
<i>clase_prod</i>	Clase productiva agrícola por uso de suelo
<i>clase_clima</i>	Piso climático por altura sobre el nivel del mar
<i>time2</i>	Tiempo por año y estación climática
<i>treat1</i>	Identificación de tratamiento por áreas de riesgo
<i>epoca2</i>	Estación Climática
<i>año3</i>	Año por estación climática
<i>usoAgr</i>	Uso de suelo Agrícola (Ha)
<i>ts_*</i>	Tipo de suelo por condiciones físicas

Fuente: Elaborado por el autor

Para el segundo objetivo, se debe estudiar la modificación de la estrategia agrícola a través de los cambios en los patrones productivos. Con este objetivo, la agrupación de la data es a nivel anual, pero con el mismo identificador de celdas. Este diseño se complementa agregando las variables de estrés por lluvias extremas, lluvias altas y días sin precipitaciones anuales por época climática y sus rezagos a una temporalidad anual. Manteniendo así las caracterizaciones de cuenca hidrográfica, piso climático y tipo de suelo. En la Tabla V.2 se encuentra el diccionario de variables.

Tabla V.2: Diccionario de variables del panel anual para uso de suelo.

<i>id</i>	<i>identificador de grids</i>
<i>riesgo</i>	<i>Clasificación de riesgo climático por inundación</i>
<i>año2</i>	<i>Año</i>
<i>prov</i>	<i>prov Provincia a la que pertenece el grid</i>
<i>rio2</i>	<i>rio2 Cuenca Hidrológica</i>
<i>clase_clima</i>	<i>clase_clima_lbl</i>
<i>perc_agr</i>	<i>Uso de suelo agrícola (%)</i>
<i>usoAgr</i>	<i>Uso de suelo agrícola (Ha)</i>
<i>ts_*</i>	<i>Tipo de suelo</i>
<i>dias_sp_h</i>	<i>Días sin precipitaciones (<1mm) en época húmeda</i>
<i>dias_sp_s</i>	<i>Días sin precipitaciones (<1mm) en época seca</i>
<i>extremo_h</i>	<i>Días con precipitaciones extremas (>20mm) época húmeda</i>
<i>extremo_s</i>	<i>Días con precipitaciones extremas (>20mm) época seca</i>
<i>alta_p_h</i>	<i>Días con precipitaciones altas (>10mm) época húmeda</i>
<i>alta_p_s</i>	<i>Días con precipitaciones altas (>10mm) época seca</i>

<i>tn90p_h</i>	<i>Días con temperaturas nocturnas altas en época húmeda</i>
<i>tn90p_s</i>	<i>Días con temperaturas nocturnas altas en época seca</i>
<i>var_agr</i>	<i>Variación de uso de suelo agrícola</i>
<i>altura</i>	<i>Altura sobre el nivel del mar en metros</i>
<i>Treat1</i>	<i>Clasificación por riesgo de inundación en sector agrícola</i>
<i>fn</i>	<i>Indicador del Fenómeno del Niño según el ONI</i>

Fuente: Elaborado por el autor

V.3 Descripción de datos

Para explorar la data compilada de manera espacial, se comienza por presentar estadísticas descriptivas de manera general. Primero se agregan por época climática y cuenca hidrológica, ya que es la agregación más amplia definida de manera natural.

Tabla V.3: Estadísticas descriptivas agrupadas por cuenca hidrográfica y estación climática para el panel completo.

	Cuenca Hidrográfica	
	Río Esmeraldas	Río Guayas
Estación Climática		
Seca		
Promedio		
Leaf Area Index (LAI)	3.498	2.776
Uso de suelo Agrícola (%)	0.439	0.672
Días sin precipitación (< 1mm)	8.273	7.690
Días con alta precipitación (entre 10 mm y 20mm)	0.004	0.034
Días con precipitaciones extremas (>20 mm)	0.000	0.001
Temperatura Nocturna Alta (>90p histórico)	1.610	0.816
Total		
Número de Grillas	1095	1580
Húmeda		
Promedio		
Leaf Area Index (LAI)	3.510	2.861
Uso de suelo Agrícola (%)	0.439	0.672
Días sin precipitación (< 1mm)	6.613	5.382

Días con alta precipitación (entre 10 mm y 20mm)	0.023	0.162
Días con precipitaciones extremas (>20 mm)	0.001	0.005
Temperatura Nocturna Alta (>90p histórico)	3.420	3.134
Total		
Número de Grillas	1095	1580

Fuente: Elaborado por el autor

En la Tabla V.3, los datos se agregan a valores cada 10 días, ya que es la agrupación temporal mínima. Por lo que, los valores describen en promedio el comportamiento 3 veces al mes durante cada época climática. Naturalmente, ambas cuencas mantienen diferencias, entre las más notorias es que en la cuenca del río Guayas hay cerca de 500 grillas extras y en porcentaje el ALU es mayor.

Como el rótulo de la estación climática indica, en la época seca la presencia de lluvias extremas es 0, pero un valor muy por debajo de precipitaciones altas por grid al mes; sin embargo, la cuenca del río Esmeraldas expresa mayor cantidad de noches cálidas, y más días sin precipitaciones. Mientras que la cuenca del río Guayas evidencia un promedio de 2.776, menor al del río Esmeraldas. Esto caracteriza diferentes tipos de cultivos en las áreas agrícolas de cada región hidrográfica.

En cambio, para la época húmeda los días sin precipitaciones se reducen en 2 para cada cuenca hidrográfica. Los días con precipitaciones altas aumentan en cada grupo, pero es más evidente en la cuenca del río Guayas, pasando de 0.034 a 0.162, lo que refleja la realidad climática de esta zona agro productiva. Para ambas cuencas, el promedio de noches cálidas aumenta significativamente a más de 3, reflejando otra dinámica característica de esta época climática: altas lluvias y mayor temperatura.

Las diferencias se deben principalmente a la agregación general, ya que las cuencas incluyen las partes altas de donde nacen los afluentes hacia el río principal. Por lo que es más apropiado explorar las semejanzas entre los territorios por pisos climáticos, definidos en intervalos de 500 metros de altura sobre el nivel del mar y a partir de los 2000 msnm considerar una clasificación única. Este resumen se encuentra en la Tabla V.4. Ya que en estos pisos climáticos se definen no solo cambios de temperaturas máximas y mínimas, sino que por las condiciones topográficas y abióticas, los efectos del cambio y variabilidad climática formulan diferentes retos productivos y de adaptación.

Tabla V.4: Estadísticas descriptivas organizadas por época climática y piso climático definido cada 500 metros de altura sobre el nivel del mar.

	Estación Climática	
	Seca	Húmeda
Piso climático por altura sobre el nivel del mar		
menor a 500m		
Promedio		
Leaf Area Index (LAI)	3.078	3.179
Uso de suelo Agrícola (%)	0.756	0.756
Días sin precipitación (< 1mm)	8.607	6.278
Días con alta precipitación (entre 10 mm y 20mm)	0.015	0.107
Días con precipitaciones extremas (>20 mm)	0.001	0.003
Temperatura Nocturna Alta (>90p histórico)	1.030	3.454
Total		
Número de Grillas	1571	1571
entre 500m y 1000m		
Promedio		
Leaf Area Index (LAI)	3.574	3.517
Uso de suelo Agrícola (%)	0.353	0.353
Días sin precipitación (< 1mm)	7.021	4.763
Días con alta precipitación (entre 10 mm y 20mm)	0.045	0.235
Días con precipitaciones extremas (>20 mm)	0.002	0.012
Temperatura Nocturna Alta (>90p histórico)	0.977	3.097
Total		
Número de Grillas	188	188
entre 1000m y 1500m		
Promedio		
Leaf Area Index (LAI)	3.982	3.880
Uso de suelo Agrícola (%)	0.279	0.279
Días sin precipitación (< 1mm)	5.735	3.923
Días con alta precipitación (entre 10 mm y 20mm)	0.069	0.242
Días con precipitaciones extremas (>20 mm)	0.002	0.011

Temperatura Nocturna Alta (>90p histórico)	1.478	3.088
Total		
Número de Grillas	115	115
entre 1500m y 2000m		
Promedio		
Leaf Area Index (LAI)	4.221	4.001
Uso de suelo Agrícola (%)	0.322	0.322
Días sin precipitación (< 1mm)	5.207	3.788
Días con alta precipitación (entre 10 mm y 20mm)	0.059	0.164
Días con precipitaciones extremas (>20 mm)	0.001	0.005
Temperatura Nocturna Alta (>90p histórico)	1.677	3.111
Total		
Número de Grillas	125	125
mayor a 2000m		
Promedio		
Leaf Area Index (LAI)	2.558	2.608
Uso de suelo Agrícola (%)	0.318	0.318
Días sin precipitación (< 1mm)	7.481	6.010
Días con alta precipitación (entre 10 mm y 20mm)	0.013	0.030
Días con precipitaciones extremas (>20 mm)	0.000	0.000
Temperatura Nocturna Alta (>90p histórico)	1.286	2.876
Total		
Número de Grillas	676	676

Fuente: Elaborado por el autor

Al momento de clasificar todas las unidades agrícolas por piso climático, podemos observar dinámicas marcadas, además de diferencias en la vegetación. Por ejemplo, en las unidades menores a 500 metros de altura, el ALU es mayor al 75 %, con más de 8 días sin precipitación consecutivos, con 1 noche cálida, con precipitaciones cercanas a 0 en la época seca. En cambio, para la época húmeda los días sin precipitación se reducen a 6 y con 3.5 noches cálidas, con una maraca crecida a 0.1 precipitaciones altas.

El siguiente piso climático se caracteriza entre los 500 y 1000 metros sobre el nivel del mar, donde se aprecia en promedio una mayor cantidad de precipitaciones. Ya que, en la época húmeda, hay 4.7 días sin precipitaciones, 0.235 días con precipitaciones altas y 3 noches cálidas. Sin embargo, tiene una reducida actividad agrícola, puesto que el ALU es del 35 %. Una relación semejante presenta el piso climático entre los 1000 y 1500 metros sobre el nivel del mar, con

3.9 días sin precipitaciones, 0.24 días con precipitaciones altas y 3 noches cálidas, con un ALU del 27 %.

Para efectos prácticos del presente estudio, es importante enfocarse únicamente en los pisos climáticos menores a 1500 msnm, ya que a partir de esta altitud se comienza a considerar como serranía baja. Sin embargo, la tabla presentada señala los estadísticos descriptivos de todos los pisos acumulados para todo el periodo de estudio.

Se puede apreciar que la mayor cantidad de observaciones se encuentra en el primer piso climático. También, en el resto de los pisos, la presencia de lluvias extremas presenta niveles inferiores a los 20.000 registros. En el primer piso, estos exceden 92.000, por lo que destaca la alta exposición a estos eventos extremos. También bajo el esquema de datos, se propuso agrupar las celdas hexagonales por porcentaje de uso de suelo agrícola, permitiendo hacer una proxie de clasificación por nivel productivo que identifique a grandes y pequeños agricultores.

Tabla V.5: Estadística descriptiva por tamaño de productor medido por el porcentaje de uso de suelo agrícola por cuenca hidrográfica.

	Cuenca Hidrográfica	
	Río Esmeraldas	Río Guayas
Clase productiva agrícola por uso de suelo menor a 20%		
Mean		
Leaf Area Index (LAI)	3.432	2.669
Uso de suelo Agrícola (%)	0.056	0.095
Días sin precipitación (< 1mm)	6.742	7.123
Días con alta precipitación (entre 10 mm y 20mm)	0.016	0.036
Días con precipitaciones extremas (>20 mm)	0.000	0.001
Temperatura Nocturna Alta (>90p histórico)	2.236	1.660
Total		
Número de Grillas	716	410
entre 20% y 40%		
Mean		
Leaf Area Index (LAI)	3.521	3.068
Uso de suelo Agrícola (%)	0.313	0.315
Días sin precipitación (< 1mm)	7.532	6.271
Días con alta precipitación (entre 10 mm y 20mm)	0.012	0.103
Días con precipitaciones extremas (>20 mm)	0.000	0.004
Temperatura Nocturna Alta (>90p histórico)	2.376	1.749

Total		
Número de Grillas	278	286
entre 40% y 60%		
Mean		
Leaf Area Index (LAI)	3.438	3.108
Uso de suelo Agrícola (%)	0.520	0.515
Días sin precipitación (< 1mm)	7.783	6.336
Días con alta precipitación (entre 10 mm y 20mm)	0.010	0.127
Días con precipitaciones extremas (>20 mm)	0.000	0.005
Temperatura Nocturna Alta (>90p histórico)	2.360	1.770
Total		
Número de Grillas	406	426
entre 60% y 80%		
Mean		
Leaf Area Index (LAI)	3.652	2.840
Uso de suelo Agrícola (%)	0.724	0.722
Días sin precipitación (< 1mm)	8.156	6.717
Días con alta precipitación (entre 10 mm y 20mm)	0.010	0.092
Días con precipitaciones extremas (>20 mm)	0.000	0.004
Temperatura Nocturna Alta (>90p histórico)	2.434	1.981
Total		
Número de Grillas	508	582
mayor al 80%		
Mean		
Leaf Area Index (LAI)	3.494	2.683
Uso de suelo Agrícola (%)	0.892	0.950
Días sin precipitación (< 1mm)	8.410	6.853
Días con alta precipitación (entre 10 mm y 20mm)	0.007	0.083
Días con precipitaciones extremas (>20 mm)	0.000	0.002
Temperatura Nocturna Alta (>90p histórico)	2.549	1.740
Total		
Número de Grillas	282	1456

Fuente: Elaborado por el autor

Las diferencias del Leaf Area Index reflejadas en la **Tabla V.5**, son de origen productivo. Dado que, en ambas cuencas, los productos agrícolas manejados son diferentes, en la cuenca del río Guayas se produce principalmente maíz, arroz y caña de azúcar. Mientras que, en la cuenca del río Esmeraldas se produce mayormente palma africana, banano y maíz. Haciendo que las diferencias vegetativas se reflejan directamente en la variable resultado.

En cuanto a las condiciones climáticas, se puede observar que las noches cálidas ocurren más seguido en la cuenca del río Esmeraldas. Del mismo modo, los días sin precipitación son más comunes en esta cuenca; en contraste, las precipitaciones altas y extremas son más comunes en la cuenca del río Guayas.

Sin embargo, para hacer un análisis más pertinente en el aspecto de concentración de unidades geográficas por la intensidad de la actividad agrícola, se presenta la **Tabla V.6**, que contiene los tabulados de las grillas por observación única dado su concentración agrícola promedio y piso climático definido cada 500 metros.

Tabla V.6: Conteo de unidades geográficas distribuidas por piso climático y concentración agrícola por uso de suelo.

	Piso climático por altura sobre el nivel del mar					^a Total
	menor a 500m	entre 500m y 1000m	entre 1000m y 1500m	entre 1500m y 2000m	mayor a 2000m	
Clase productiva agrícola por uso de suelo						
menor a 20%	69	72	56	55	311	563
entre 20% y 40%	92	42	19	24	105	282
entre 40% y 60%	200	44	28	17	127	416
entre 60% y 80%	378	29	12	28	98	545
mayor al 80%	832	1		1	35	869
Total	1,571	188	115	125	676	2,675

Fuente: Elaborado por el autor

La **Tabla V.6** expresa que la mayor concentración de unidades agrícolas se encuentra en el primer piso climático con 1571 grillas identificadas, dejando a las altitudes mayores a 2000 m como el segundo nivel de concentración con 676 grillas. Esto se debe a que la agricultura en zonas de transición puede ser más inestable por las altas pendientes del suelo. Sin embargo, como el enfoque del estudio es capturar sensibilidad ante inundaciones, nos enfocaremos a unidades agrícolas con alturas menores a los 1500 metros.

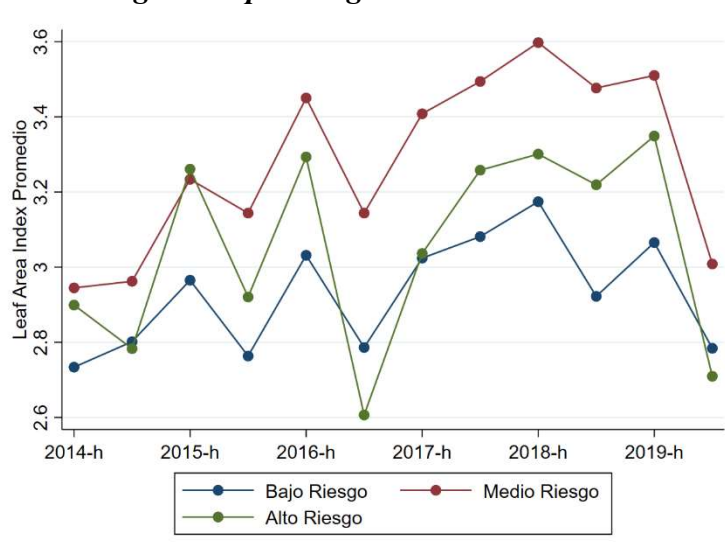
La **Tabla V.6** también permite identificar que las unidades productivas grandes, siendo 869, de las cuales 832, se encuentran en alturas menores a 500 metros. En los pisos de transición entre los 500 y los 2000 metros podemos observar una gran heterogeneidad de conteo de grillas, con concentraciones variadas. Luego, cuando superamos la barrera de los 2000 metros de altura,

se observan 311 grillas identificadas como de baja concentración agrícola, lo que se correlaciona con la actividad agrícola familiar diversificada que caracteriza social y productivamente a esta región.

Enfocándose en responder el primer objetivo de esta investigación, se debe enmarcar el análisis en la dinámica de biofísica vegetal. Para esto agregamos el panel a nivel de época climática por año e identificador. Se generan también clasificaciones por nivel de riesgo de inundación en el sector agrícola, esto para que los resultados comparen territorios con sensibilidades semejantes a las precipitaciones extremas.

De este modo, la **Figura V.6**, expresa la evolución estacional del LAI para los diferentes grupos de riesgo climático. Como podemos observar, en 2015 y 2016 se aprecia la caída fuerte del índice de vegetación. Esto expresa de manera gráfica los efectos posteriores al fenómeno del niño de aquellos años, en una dinámica semejante que se refleja en el 2019. Cuando hay años sin presencia de fenómenos oceánicos, se pueden observar tendencias paralelas entre los grupos a estudiar, ya que los patrones productivos presentan en promedio caracterizaciones generales.

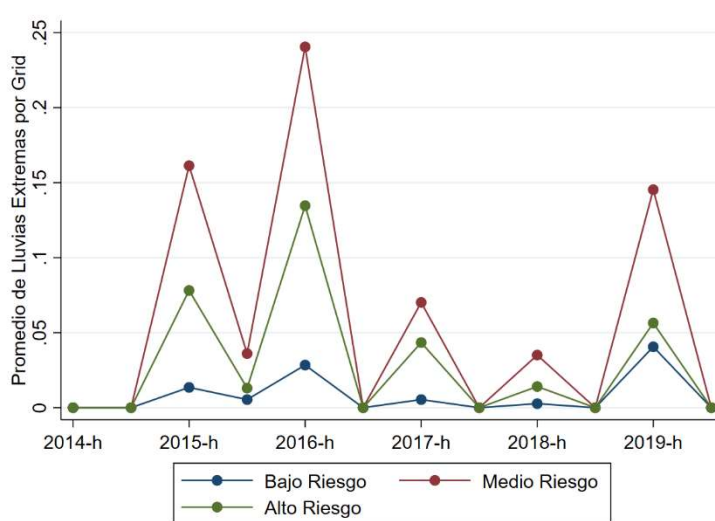
Figura V.6: Evolución de los promedios estacionales por grilla de LAI clasificando áreas agrícolas por riesgo de inundaciones.



Fuente: Elaborado por el autor

Por otro lado, la evolución estacional de las precipitaciones extremas promedio por grid se aprecia en la **Figura V.7**. Se aprecia que las lluvias extremas están presentes en los periodos de 2015, 2016 y 2018. La magnitud promedio en sí no es muy informativa, dado que la observación de inundaciones es poco común y que la cantidad de grids es muy grande; sin embargo, refleja correlación con la temporalidad climática de la región. En la gráfica se observa que la clasificación por riesgo caracteriza con bastante precisión a los grupos de mayor sensibilidad, dado que para los grupos de alto y medio riesgo el nivel de exposición es más grande que el de bajo riesgo.

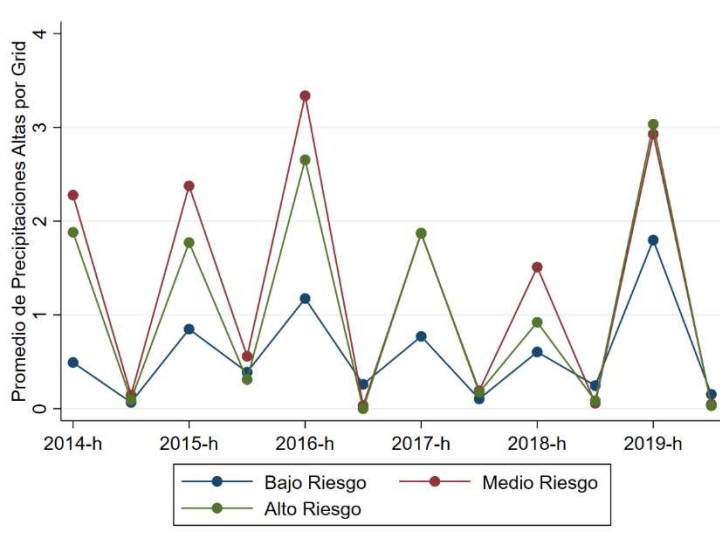
Figura V.7: Evolución de los promedios estacionales por grilla de Precipitaciones Extremas, clasificando áreas agrícolas por riesgo de inundaciones.



Fuente: Elaborado por el autor

Continuando, una dinámica semejante se observa para las precipitaciones altas, definidas entre 10 y 20 mm de lluvia, de acuerdo con los registros satelitales. En la **Figura V.8**, se aprecia que durante las épocas húmedas el nivel de las precipitaciones aumenta. Analizando, en términos de precipitaciones altas, los grupos de alto y medio riesgo tienen una dinámica de exposición muy semejante, con picos ligeramente diferentes, los cuales se vuelven más críticos cuando son años con presencia del fenómeno del niño.

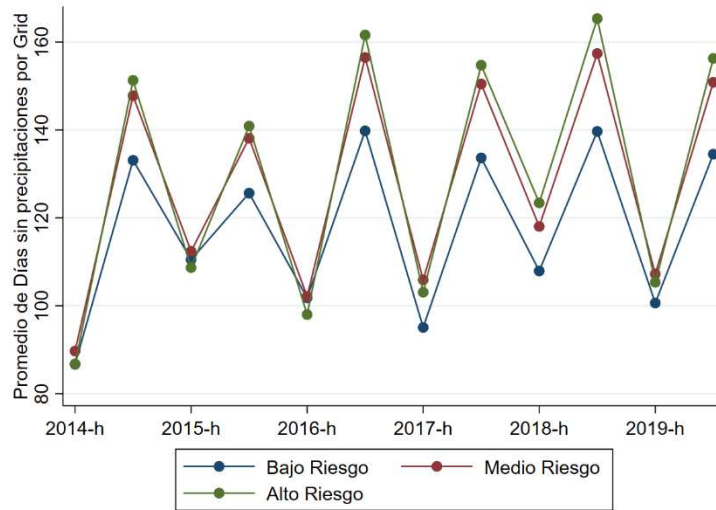
Figura V.8: Evolución de los promedios estacionales por grilla de Precipitaciones Extremas, clasificando áreas agrícolas por riesgo de inundaciones



Fuente: Elaborado por el autor

Desde otra perspectiva, los días sin precipitación son un buen indicador para sequías y se correlacionan con el fenómeno de la niña. Para esto, la **Figura V.9** expresa la evolución de este indicador para cada estación climática en el periodo estudiado. En esta dinámica se puede observar que, posterior al 2016, hay un nivel mayor de días sin precipitación, llegando hasta 165. Siendo más de 5 meses sin lluvia. Esta dinámica es más homogénea para todos los grupos expuestos, ya que si bien la presencia excesiva de lluvias es una exposición contra productiva para la actividad agrícola, la ausencia prolongada es un fenómeno que afecta por igual a todos los sectores agrícolas.

Figura V.9: Evolución de los promedios estacionales por grilla de Días sin Precipitación, clasificando áreas agrícolas por riesgo de inundaciones.



Fuente: Elaborado por el autor

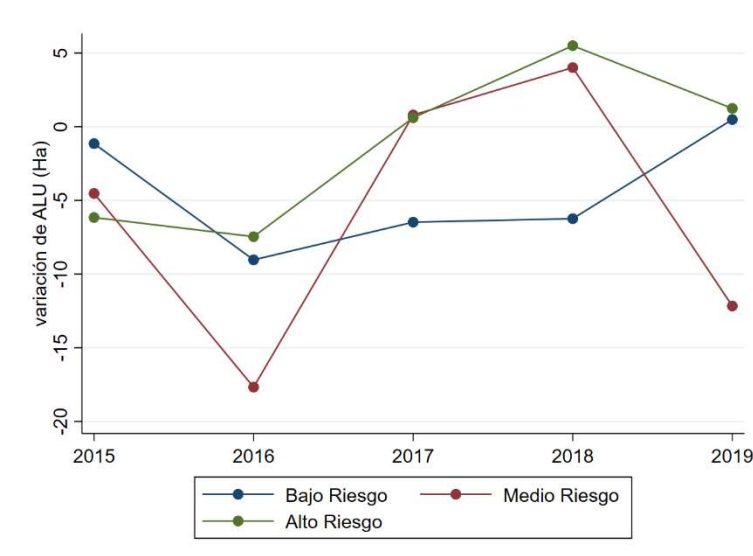
Luego, para controlar la perspectiva de la temperatura se considera al TN90p que es una medida de consideración de desviación de la normal de temperaturas. La evolución estacional de este indicador se encuentra en la **Figura V.10**. En la cual se observa una correlación con el fenómeno del niño y las precipitaciones altas. De manera específica, durante la época húmeda del 2016 en promedio se evidenciaron más de 100 noches cálidas para todos los grupos de sensibilidad a inundaciones.

Para considerar el segundo objetivo, no se pueden considerar los promedios estacionales, ya que la variable de interés es medida cada año, pero se pueden caracterizar indicadores acumulados y promedios por época para caracterizar dicho año. Esto nos establece una ruta de análisis diferente para el segundo objetivo de este trabajo de titulación.

Con esto mencionado, y considerando la estructura de datos detallada en la sección anterior, se comienza por explorar la relación de las variables de uso de suelo agrícola en hectáreas. Para las tres clasificaciones de riesgo a inundaciones, los promedios varían ligeramente entre años; sin embargo, se pueden apreciar niveles de concentración de la actividad agrícola diferentes para cada categoría de riesgo. Esta dinámica se diagrama en la **Figura V.11**.

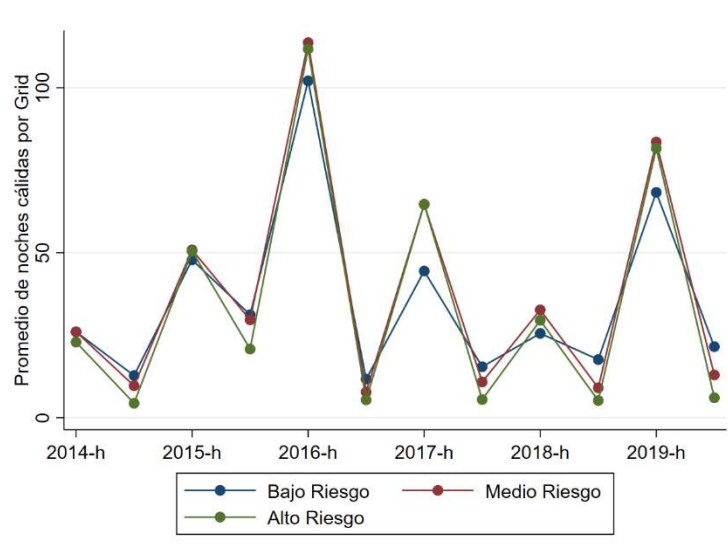
En cambio, si se analiza desde las variaciones de uso de suelo interanuales, se puede apreciar cómo a lo largo de los años la estrategia agrícola se puede ir modificando. La **Figura V.12** refleja la evolución de este proceso, en la cual se aprecia que, en promedio, los que mayormente modifican su estrategia agrícola son los agricultores de riesgo medio; ellos son más sensibles ante los cambios abruptos del clima.

Figura V.10: Evolución de los promedios estacionales por grilla de Noches Cálidas, clasificando áreas agrícolas por riesgo de inundaciones.



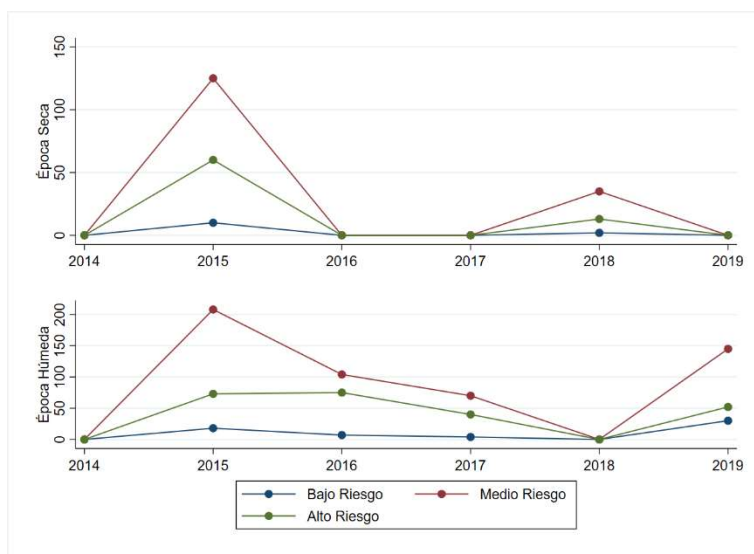
Fuente: Elaborado por el autor

Figura V.11: Evolución anual del uso de suelo agrícola en Hectáreas, clasificado por riesgo de inundación.



Fuente: Elaborado por el autor

Figura V.12: Evolución de la variación interanual del uso de suelo agrícola en Hectáreas, clasificado por riesgo de inundación.

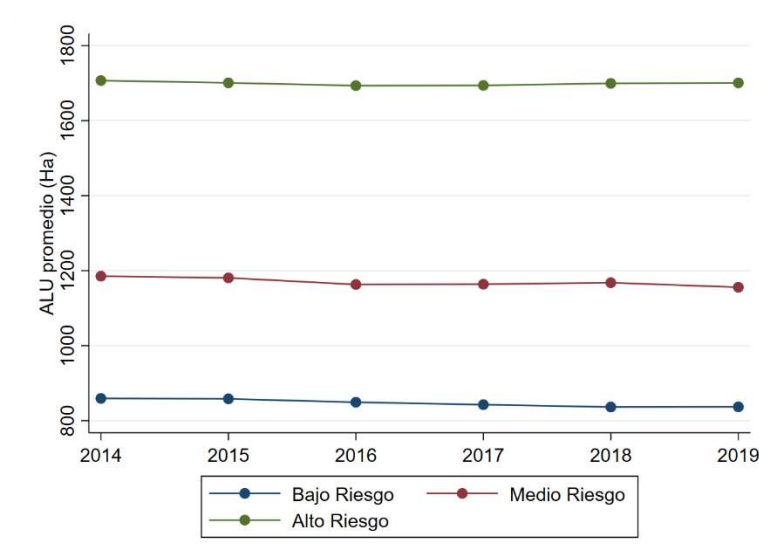


Fuente: Elaborado por el autor

Como se explicó anteriormente, la evolución de los eventos climáticos debe ser observada en simultáneo. Para esto, el acumulado de lluvias extremas es presentado en la **Figura**

V.13, representando de manera gráfica la dinámica acumulada por área de riesgo de inundación. Se aprecian las subidas abruptas durante los fenómenos oceánicos según las dinámicas descritas.

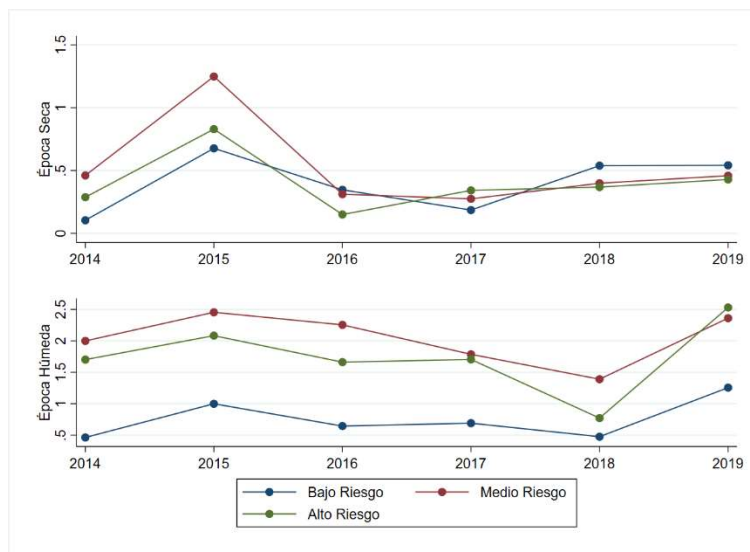
Figura V.13 Evolución del total de lluvias extremas por estación y nivel de riesgo a inundación.:



Fuente: Elaborado por el autor

El indicador de lluvias altas es más representativo, ya que en la **Figura V.14** se representa el promedio por época climática anual. Dónde las dinámicas de las precipitaciones se aprecian de manera diferente, lo cual supone niveles de estrés a la estrategia agrícola diferente para cada clasificación de riesgo ante inundación.

Figura V.14: Evolución del promedio de lluvias altas por estación y nivel de riesgo a inundación.



Fuente: Elaborado por el autor

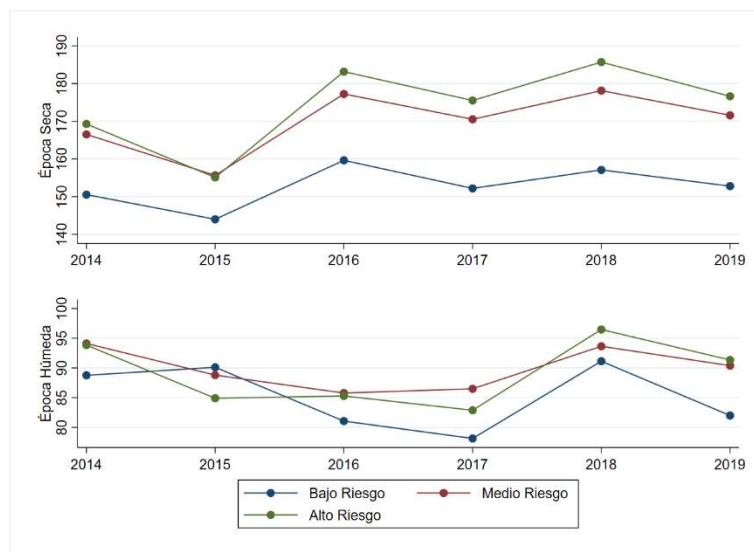
La **Figura V.15** refleja que al año en promedio se obtiene menos de un día de lluvias fuertes durante la época seca, mientras que en la época húmeda puede llegar a alcanzar niveles de 2.5 días. También refleja el proceso de fenómeno de la niña entre 2016 y 2018, con una época húmeda que refleja niveles bajos de precipitaciones altas.

Por otro lado, los días sin precipitaciones presentan una evolución alterna a las precipitaciones altas. La época seca más baja fue registrada en 2015, donde se encontraba previo a un fenómeno del niño fuerte, luego la dinámica se mantiene semejante para los demás años. Mientras que la época húmeda con mayor nivel de sequía se evidenció en 2018 con los umbrales de sequía más representativos.

Finalmente, se analiza la evolución de noches cálidas para los tres grupos de riesgo a inundaciones. Esta dinámica está marcada por el 2015 y 2016, teniendo una dinámica consecutiva de noches cálidas entre sus etapas secas y húmedas. Indicando que, durante la época seca, se observa la mitad de las noches cálidas a comparación que durante la época húmeda. Además, se mantienen niveles bajos de noches cálidas durante las épocas húmedas entre 2017 y 2018 lo que refleja el proceso del fenómeno de la niña.

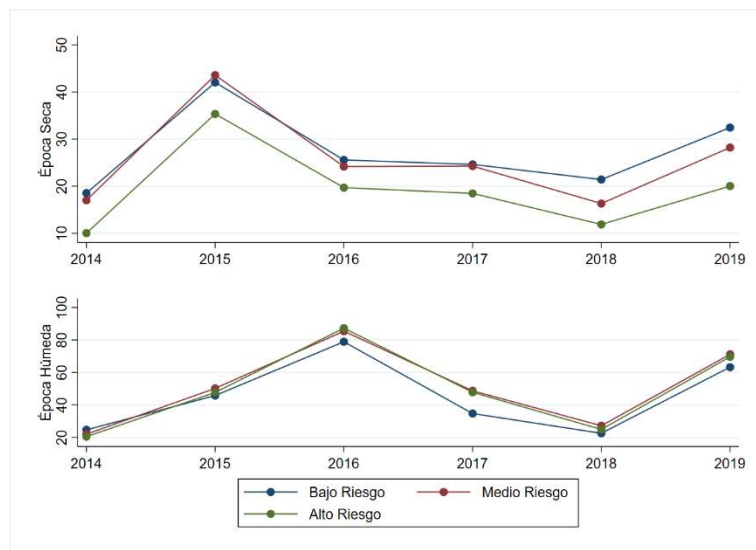
De este modo, las dinámicas tanto vegetales, de estrategia agrícola y climáticas durante el periodo de estudio han sido representadas. Reflejando de manera gráfica y cuantitativa las relaciones entre las variables climáticas de estrés de precipitaciones como de medidas de tendencia de temperaturas. Asimismo, se analizó en una temporalidad general la caracterización por concentración de actividad agrícola, piso climático y nivel de riesgo de inundación, lo cual refleja de manera específica las dinámicas agroclimáticas de la región de los ríos Guayas y Esmeraldas.

Figura V.15: Evolución del promedio de días sin precipitación por época climática y nivel de riesgo a inundación.



Fuente: Elaborado por el autor

Figura V.16: Evolución del promedio de noches cálidas por época climática y nivel de riesgo a inundación.



Fuente: Elaborado por el autor

CAPÍTULO VI: RESULTADOS

VI.1 SALUD VEGETAL

Para evaluar la sensibilidad de los cultivos ante la exposición de estrés por precipitaciones, se realizó el ejercicio de poner el máximo número de rezagos de las variables de climáticas calculadas. De este modo, se evalúa el aumento del R^2 ajustado y la reducción del $RMSE$ para cada especificación. Así, escoger el número óptimo de rezagos en términos de parsimonia, mínima variación del parámetro de ajuste y error. Esta evaluación se expresa en la *Tabla VI.1*.

Dados los criterios explicados, se puede observar que la diferencia del R^2 ajustado para los modelos con rezagos mayores a 5, la variación comienza a ser mínima. Por lo que, el aporte representativo al desempeño del modelo, no se ve reflejado al menos en términos predictivos. Además, en las regresiones de orden mayor, existe presencia de multicolinealidad perfecta para los términos de exposición a estrés hídrico, por lo que se sobre especifica el modelo, dejando de lado su aporte en términos de parsimonia.

Por otro lado, para los 4 primeros rezagos, el $RMSE$ presenta una reducción mínima por lo que el aporte es mínimo también. Sin embargo, al llegar al quinto rezago, se puede observar una caída representativa en el indicador elegido para el error del modelo. Además de presentar una escalada en el criterio de predicción, por lo que, el modelo escogido es el de 5 lags.

Tabla VI.1: Selección del modelo con los criterios de ajuste y reducción de error.

Lags	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
N	29425	26750	24075	21400	18725	16050	13375	10700	8025	5350
R-adj	0.358	0.388	0.407	0.413	0.432	0.423	0.419	0.421	0.420	0.438
RMSE	0.904	0.882	0.878	0.876	0.873	0.868	0.884	0.863	0.858	0.805

Fuente: Elaborado por el autor

En términos de la dimensión temporal, el escoger 5 rezagos para el modelo sería análogo a escoger 2 años y medio de información relevante. Lo cual es una suposición coherente, ya que dependiendo del producto agrícola el ciclo de cultivo es variable. Los cultivos de ciclo corto tendrían como mínimo 3 meses para cambiar su estrategia y algunos como el cacao tomarían hasta 4 años para adaptar su estrategia agrícola. Como la identificación de los

datos no permite discriminar perfectamente por tipo de cultivo, el criterio seleccionado permite hacer un promedio apropiado del ciclo de cultivo considerando los criterios técnicos.

En la **Tabla VI.2**, se encuentran los resultados estimados del modelo general, en el cual se consideran las observaciones de las dos cuencas hidrográficas, en todos los pisos climáticos, para todas las concentraciones agrícolas. En cada columna se añaden diferentes tipos de control, con el objetivo de ir observando la robustez del resultado ante variables inobservadas. También se utilizaron 5 momentos para estimar los impactos del panel dinámico. Además, se clusterizaron los errores a nivel de identificador espacial. Los efectos fijos individuales fueron tomados por la combinación de provincia y riesgo climático y los efectos fijos temporales fueron señalados por época climática. Esto se debe a que el generar efectos temporales por periodo, eliminaba el efecto del fenómeno del niño por multicolinealidad perfecta.

Para todos los modelos estimados se cuenta con 18,606 observaciones que corresponden a las grillas espaciales distribuidas en las dos cuencas hidrográficas estudiadas. La primera columna refleja el modelo básico sin controlar por observables, pero con efectos fijos, temporales e individuales. En aquella especificación podemos observar un signo cambiante entre los coeficientes de los rezagos de precipitaciones extremas. Esto hace sentido, ya que la dinámica climática repite condiciones cada 2 periodos.

En términos de días sin precipitación, la columna 1 refleja una dinámica donde los rezagos más lejanos tienen un efecto más persistente que los rezagos más cercanos. Las precipitaciones altas no reflejan una relación clara, mientras que las expectativas del fenómeno del niño presentan efectos negativos significativos de -0.51 en el primer rezago.

Para la segunda columna se agregaron controles por propiedades físicas del suelo, para las precipitaciones extremas la relación se transforma positiva, los días sin precipitaciones no generan cambios, las precipitaciones altas evidencian un patrón de zigzag entre signos positivos y negativos con baja significancia, mientras que las expectativas del fenómeno del niño no presentan cambios bruscos con respecto a la columna 1.

En la columna 3 se agregaron controles de piso climático. Para las precipitaciones extremas se encuentran resultados positivos y significativos para los periodos pares. Para las precipitaciones altas se encuentran valores negativos y significativos para cada periodo par y no significativos para los impares. Mientras que, para los días sin precipitaciones, los rezagos más lejanos presentan valores significativos negativos.

En la columna 4 se agregó un control de desviación de temperatura mediante las noches cálidas, de este modo para las precipitaciones extremas se evidencian relaciones positivas significativas para los rezagos pares, para las precipitaciones altas se observan efectos negativos significativos en los rezagos pares.

En la columna 5 se agregó el nivel de concentración agrícola como control para caracterizar la productividad agrícola. En esta especificación se observó que las precipitaciones extremas tienen un signo negativo significativo para el rezago más lejano, mientras que para los más cercanos son positivos. Los días sin precipitación tienen signos negativos significativos para los rezagos más lejanos y no significativos para los más cercanos. Las precipitaciones altas tienen signos negativos hasta el cuarto rezago, con resultados significativos en los rezagos pares.

Para todas las especificaciones, las expectativas del fenómeno del niño se comportan de manera semejante, con resultados negativos significativos para los primeros rezagos. Siendo así que el primer rezago presenta valores cercanos al -0.5 en todas las especificaciones y de hasta -0,103 para el segundo rezago. Sin embargo, para los demás rezagos no presenta resultados homogéneos, ya que cambia de signo y significancia en cada especificación.

Para complementar el análisis, se presenta una estimación con adelantos, por el hecho de que estos representan de manera teórica las posibles anticipaciones a los fenómenos climáticos. Esta cuestión es importante, ya que refleja la capacidad de los agricultores a prepararse ex ante de las amenazas climáticas. Evaluando de una manera general, inclusive las anticipaciones al fenómeno del niño.

En la **Tabla VI.3**, se puede observar el resultado de este ejercicio con la especificación de los controles de tipo de suelo, temperaturas, uso de suelo agrícola y piso climático. En ella podemos observar que, a medida que se añaden los adelantos, las expectativas a lluvias extremas hacen que los agricultores reduzcan la densidad de su área agrícola. Por otro lado, las preparaciones ante sequías presentan el mismo signo y significancia que los rezagos, lo que indica una baja capacidad de adaptarse ante la ausencia de agua. Las altas precipitaciones no presentan una relación monótona, con cambios en la significancia, por lo que no permite entender una relación de anticipación eficiente. En cambio, las anticipaciones ante el fenómeno del niño se estiman como negativas y significativas ante el primer rezago, indicando la capacidad de anticiparse, sin embargo, a mayores rezagos el signo cambia intuyendo una

oportunidad de aprovechar la producción antes de la ola de variabilidad climática por el fenómeno oceánico.

Tabla VI.2: Resultados de la estimación mediante TWFE de la dinámica de salud vegetal ante la expectativa ex post de exposición a shocks de estrés hídrico por precipitaciones.

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
L.extremo	-0.040 (0.035)	0.021 (0.033)	0.022 (0.032)	0.027 (0.032)	0.006 (0.031)
L2.extremo	0.029 (0.031)	0.102*** (0.029)	0.120*** (0.030)	0.111*** (0.030)	0.080** (0.028)
L3.extremo	-0.022 (0.017)	0.003 (0.016)	0.015 (0.016)	0.014 (0.016)	0.009 (0.015)
L4.extremo	0.004 (0.018)	0.037* (0.017)	0.047** (0.017)	0.047** (0.017)	0.038* (0.016)
L5.extremo	-0.051* (0.021)	-0.022 (0.019)	-0.031 (0.019)	-0.029 (0.019)	-0.039* (0.018)
L.dias_sp	0.001 (0.001)	0.001 (0.000)	0.001 (0.000)	0.001 (0.000)	0.000 (0.000)
L2.dias_sp	0.000 (0.000)	0.000 (0.000)	0.000 (0.000)	0.001* (0.000)	0.001* (0.000)
L3.dias_sp	0.002*** (0.000)	0.003*** (0.000)	0.003*** (0.000)	0.003*** (0.000)	0.003*** (0.000)
L4.dias_sp	-0.008*** (0.000)	-0.008*** (0.000)	-0.007*** (0.000)	-0.007*** (0.000)	-0.006*** (0.000)

L5.dias_sp	-0.008*** (0.000)	-0.008*** (0.000)	-0.007*** (0.000)	-0.007*** (0.000)	-0.008*** (0.000)
L.alta_p	0.010* (0.004)	0.003 (0.004)	-0.004 (0.004)	-0.004 (0.004)	-0.001 (0.004)
L2.alta_p	0.000 (0.004)	-0.010** (0.004)	-0.015*** (0.004)	-0.016*** (0.004)	-0.013*** (0.004)
L3.alta_p	0.004 (0.003)	0.000 (0.003)	-0.002 (0.003)	-0.002 (0.003)	-0.002 (0.003)
L4.alta_p	0.000 (0.003)	-0.005 (0.003)	-0.011*** (0.003)	-0.009** (0.003)	-0.008** (0.003)
L5.alta_p	0.007** (0.003)	0.005 (0.003)	0.003 (0.003)	0.003 (0.003)	0.001 (0.003)
L.fn	-0.510*** (0.011)	-0.506*** (0.011)	-0.488*** (0.010)	-0.499*** (0.011)	-0.508*** (0.011)
L2.fn	-0.013 (0.011)	-0.011 (0.011)	-0.031** (0.011)	-0.102*** (0.023)	-0.137*** (0.022)
L3.fn	-0.030*** (0.009)	-0.028** (0.009)	-0.010 (0.009)	0.000 (0.009)	0.001 (0.009)
L4.fn	-0.110*** (0.010)	-0.104*** (0.010)	-0.073*** (0.010)	0.048 (0.036)	0.103** (0.035)
N	18606	18606	18606	18606	18606
R-adj	0.430	0.515	0.549	0.549	0.565

RMSE	0.875	0.807	0.778	0.778	0.764
TWFE	X	X	X	X	X
Tipo Suelo	-	X	X	X	X
Piso Climatico	-	-	X	X	X
TN90p	-	-	-	X	X
ALU	-	-	-	-	X

La estimación de los modelos de las columnas (1) a (5) se realizó mediante Two-Way Fixed-Effects considerando el componente individual a nivel de provincia y riesgo climático, y el temporal mediante época climática. La selección de rezagos se realizó mediante el criterio de Okui (2004). Los errores están clusterizados a nivel de Grilla espacial.

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

Fuente: Elaborado por el autor

Tabla VI.3: Resultados de la estimación mediante TWFE de la dinámica de expectativas ex ante de salud vegetal ante la exposición a shocks de estrés hídrico por precipitaciones

	(1)	(2)	(3)
F.extremo	-0.059** (0.018)	-0.056** (0.017)	-0.031 (0.019)
F2.extremo		-0.042 (0.024)	-0.037 (0.023)
F3.extremo			-0.071* (0.029)
F.dias_sp	-0.006*** (0.001)	-0.002*** (0.000)	0.000 (0.000)
F2.dias_sp		-0.007*** (0.000)	-0.006*** (0.000)
F3.dias_sp			-0.003*** (0.000)
F.alta_p	0.006 (0.003)	0.010** (0.004)	0.006* (0.003)
F2.alta_p		-0.012*** (0.003)	-0.010** (0.003)
F3.alta_p			0.006 (0.004)
F.fn	-0.103*** (0.007)	-0.119*** (0.007)	-0.258*** (0.010)
F2.fn		-0.007 (0.016)	0.074*** (0.016)
F3.fn			0.130*** (0.008)
N	29238	26580	23922
R-adj	0.480	0.489	0.497
RMSE	0.804	0.798	0.783

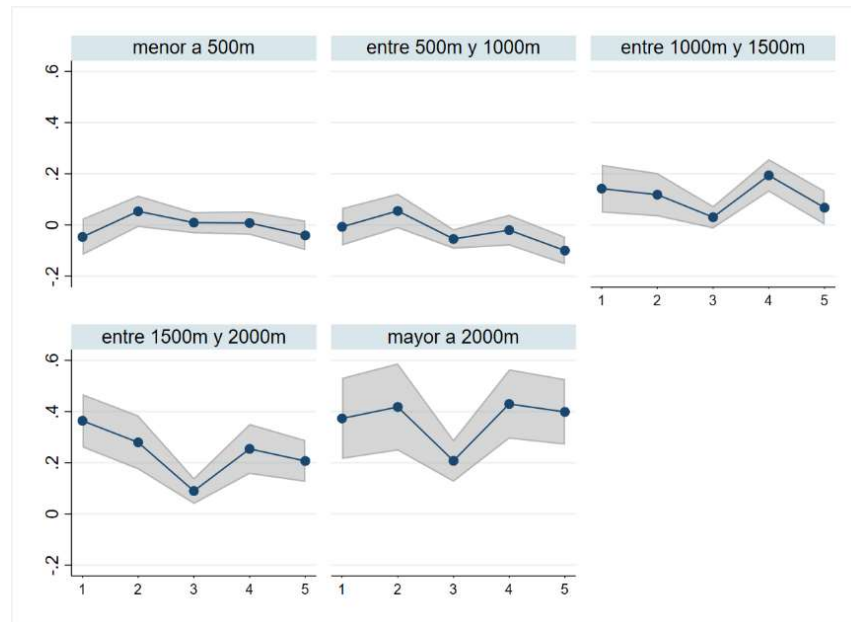
La estimación de los modelos de las columnas (1) a (3) se realizó mediante Two-Way Fixed-Effects considerando el componente individual a nivel de provincia y riesgo climático, y el temporal mediante época climática. * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

Fuente: Elaborado por el autor

Pero, la exploración general no es suficientemente informativa, por lo que se propone seguir una metodología de efectos grupo específicos, en la cual se explora la dinámica para los grupos identificados. En este caso, se utilizará la especificación con 5 lags, utilizando los controles de temperatura. Los grupos a estudiar serán por piso climático y por concentración de uso de suelo agrícola.

Para llevar a cabo este análisis, se estimaron los valores marginales de los rezagos para cada componente de estrés hídrico para las clasificaciones piso climático y de nivel de concentración agrícola. En la **Figura VI.1**, se encuentra el efecto marginal retardado de las precipitaciones extremas sobre los diferentes pisos climáticos, para los primeros dos pisos climáticos los efectos marginales no son diferentes de cero en términos estadísticos, a diferencia de las altitudes mayores donde las precipitaciones extremas no son ocurrentes, por lo que reflejan un efecto mayormente positivo.

Figura VI.1: Efectos marginales de los rezagos de precipitaciones extremas clasificado por piso climático definido cada 500 metros de altura sobre el nivel del mar.

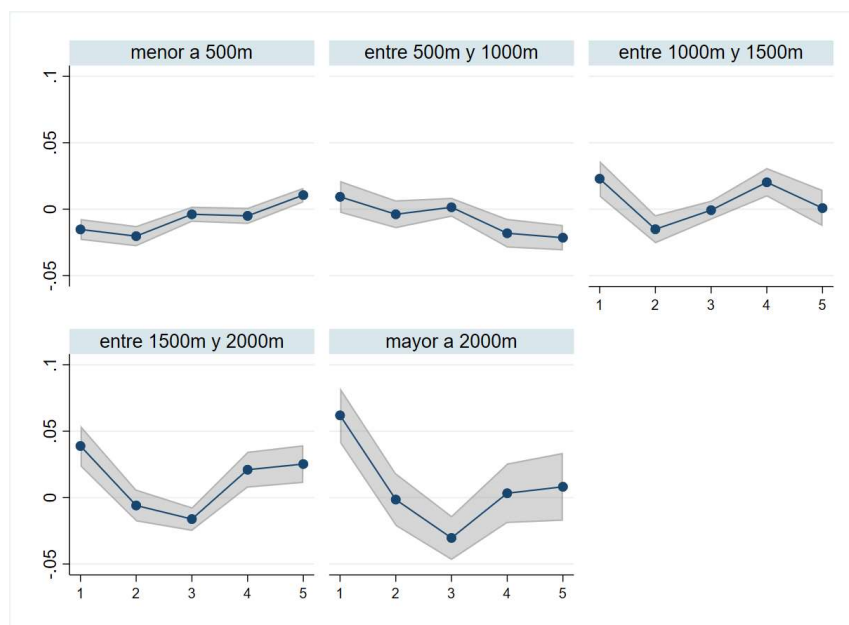


Fuente: Elaborado por el autor

El efecto marginal de los días sin precipitaciones se ven diagramados en la **Figura VI.2**. El efecto inmediato de los días sin precipitaciones afecta negativamente al segundo y cuarto piso climático. Mientras que, para todos los pisos, excepto el segundo, los rezagos más altos tienen una tendencia negativa sostenida, indicando que periodos rezagados de días sin precipitaciones afectan negativamente a la salud vegetativa.

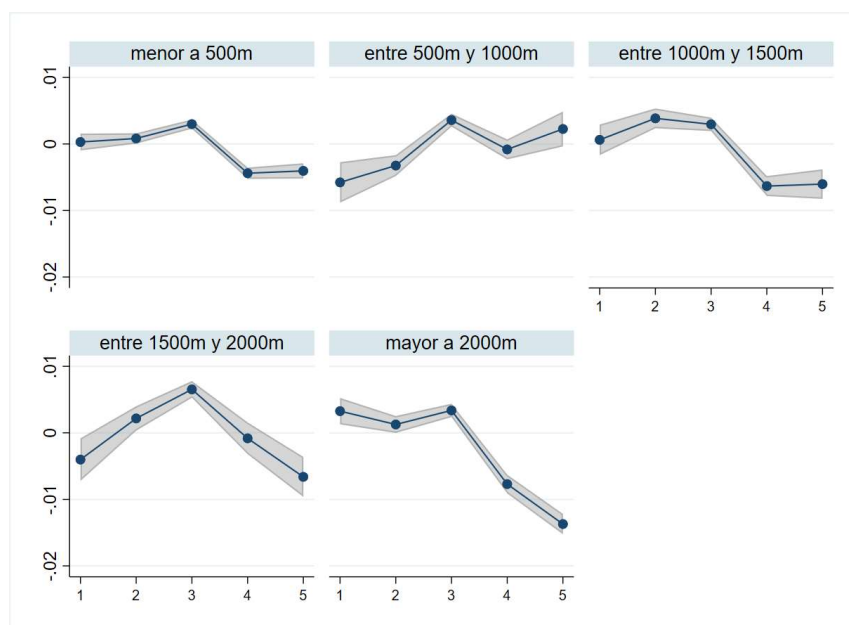
Por otro lado, enfocándose en las altas precipitaciones, para los pisos climáticos con alturas menores a 1000 metros el efecto inmediato es negativo. Para las alturas superiores a esta marca se reflejan que movimientos más retardados tienen efectos positivos, pero muestran una ciclicidad, ya que grafican una curva que pasa de valores positivos a negativos.

Figura VI.2: Efectos marginales de los rezagos de precipitaciones extremas clasificado por piso climático definido cada 500 metros de altura sobre el nivel del mar.



Fuente: Elaborado por el autor

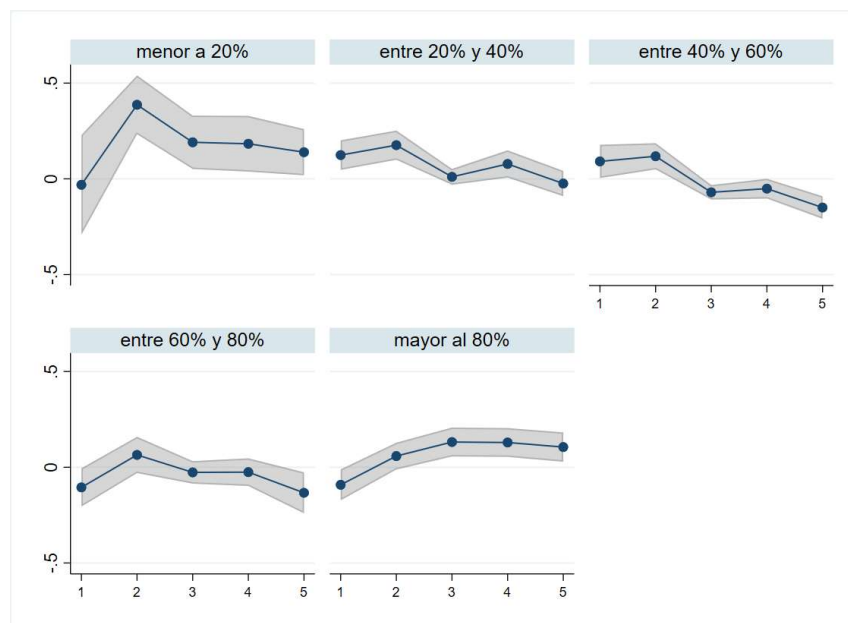
Figura VI.3: Efectos marginales de los rezagos de precipitaciones extremas clasificado por piso climático definido cada 500 metros de altura sobre el nivel del mar.



Fuente: Elaborado por el autor

En cambio, caracterizando a los shocks de precipitación mediante la concentración agrícola, podemos observar patrones diferentes. Para comenzar, se explora la incidencia marginal de las precipitaciones extremas en la **Figura VI.3**. Ahí se pueden evidenciar que las concentraciones más grandes tienen efectos inmediatos negativos, mientras que las más pequeñas tienen efectos inmediatos positivos. Sin embargo, los bloques de concentración mayores al 40 % y menores al 80 % reflejan un problema productivo, ya que las precipitaciones extremas más rezagadas tienen efectos negativos significativos, lo que indica persistencia de los shocks.

Figura VI.4: Efectos marginales de los rezagos de precipitaciones extremas clasificado por concentración de uso de suelo agrícola definido por quintiles.

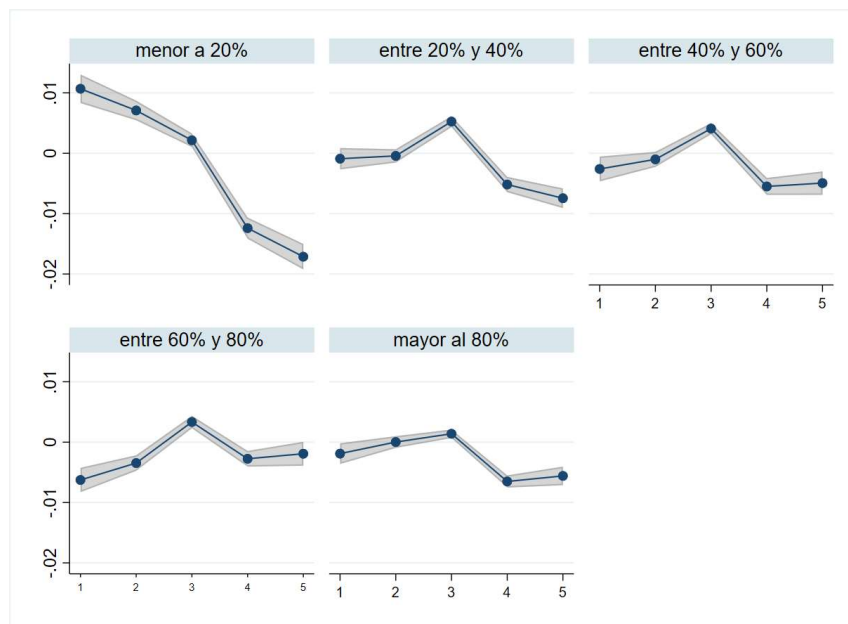


Fuente: Elaborado por el autor

Si se analiza desde la perspectiva de los días sin precipitación por los niveles de concentración agrícola, encontramos en la **Figura VI.5** que los niveles de concentración entre 20 % y 80 % reflejan una dinámica semejante, ya que los rezagos más retardados tienen significancia estadística negativa evidenciando persistencia, y ante shocks recientes el efecto es negativo pero menor en magnitud. En cambio, las unidades espaciales de menor concentración presentan una reacción con mayor persistencia de efectos retardados. Mientras que, los de mayor concentración pueden mantener los efectos de los primeros rezagos en cero, cuando los rezagos son muy avanzados, el efecto es persistente y negativo.

Finalmente, los efectos marginales de las altas precipitaciones se ven graficados en la **Figura VI.6**. Las unidades espaciales con menor concentración agrícola se ven beneficiadas en el efecto inmediato del aumento de las precipitaciones, a diferencia de las de mayor concentración que presentan efectos negativos persistentes hasta el tercer rezago. Las unidades espaciales con concentración entre un 20 % y un 60 % son bastante reactivas pasando de positivos a negativos cíclicos, pero sin significancia estadística, pero si observamos solo el valor puntual es principalmente negativo.

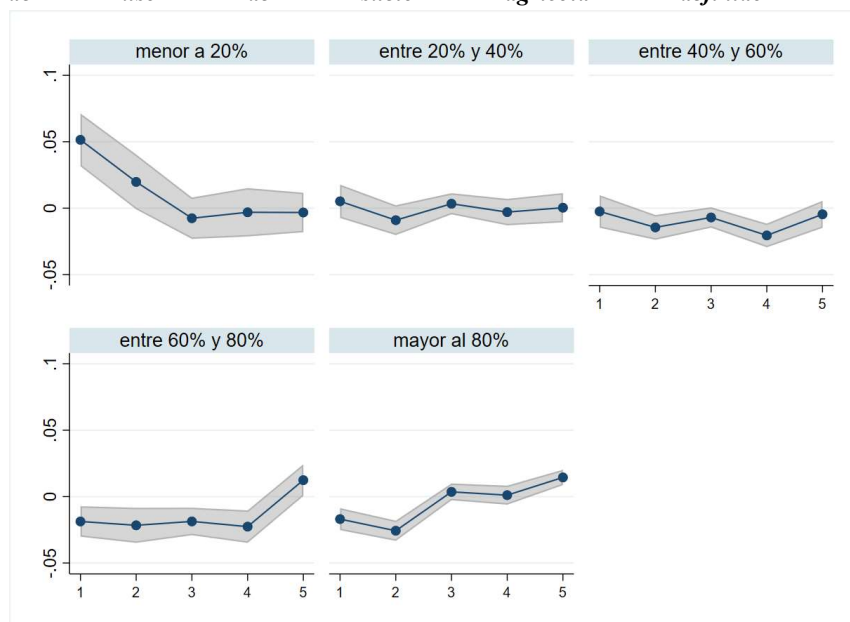
Figura VI.5: Efectos marginales de los rezagos de días sin precipitación clasificado por concentración de uso de suelo agrícola definido por quintiles.



Fuente: Elaborado por el autor

De este modo, se exploraron las relaciones generales de las exposiciones a estrés hídrico por precipitación de las diferentes unidades agrícolas. Caracterizando de manera general un panel dinámico que permite entender cómo estos factores climáticos afectan positiva o negativamente a la vegetación agrícola a través del Leaf Area Index. Permitiendo observar las relaciones complejas del clima y la producción agrícola desde una perspectiva más econométrica que refleja las relaciones observadas en la práctica agrícola o las anticipaciones a los shocks climáticos. Además, de cómo las experiencias de los agricultores se reflejan en la capacidad de generar cultivos con calidades vegetativas semejantes posterior y previo, por expectativas, a estrés hídrico.

Figura VI.6: Efectos marginales de los rezagos de precipitaciones altas clasificado por concentración de uso de suelo agrícola definido por quintiles.



Fuente: Elaborado por el autor

VI.2 ESTRATEGIA AGRÍCOLA

Los cambios en la estrategia agrícola pueden ser estructurados también a partir del uso de suelo agrícola, por lo que para responder el segundo enfoque del presente trabajo de titulación se realizó un modelo de panel dinámico considerando los efectos de los shocks de estrés hídrico y sus rezagos sobre el nivel de uso de suelo agrícola (ALU). Para esto se dividieron los indicadores por temporada y finalmente se seleccionó el mejor rezago del modelo siguiendo los criterios de Okui (2004). (ver *Tabla VI.4*)

Tabla VI.4: Selección de rezagos óptimos para el modelo de panel anual.

Lags	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
N	13,375	10,700	8,025	5,350	2,638
R-adj	0.729	0.730	0.730	0.730	0.725
RMSE	377.087	376.117	375.223	374.979	377.669

Fuente: Elaborado por el autor

Al momento de considerar los efectos fijos temporales anuales las incidencias del fenómeno del niño no son calculables ya que al ser una variable dummy anual su efecto es absorbido por el diseño econométrico. En los modelos con cuatro rezagos se

comienza a observar la presencia de multicolinealidades perfectas, por lo que al sobre identificar el modelo, su poder de explicación se invalida. Por lo que, la elección del mejor modelo está entre los tres primeros lags del modelo. El primer y el segundo lag presentan relaciones monotónicas con coherencia de la teoría económica y lo observado en la práctica agrícola. El tercer rezago evidencia relaciones complejas al considerar cambios entre positivos y negativos de los efectos rezagados. Por lo que el modelo seleccionado será el de 2 rezagos.

Para el presente modelo se utilizará el modelo de rezagos distribuidos en panel con dos retardos. Los errores están clusterizados a nivel de unidad espacial, los efectos fijos individuales son de provincia-cantón-parroquia y los temporales por año. Esta especificación es la mínima posible por la naturaleza del panel, lo que imposibilita generar un indicador del fenómeno del niño. Los resultados generales de las estimaciones se encuentra en la **Tabla VI.5**. De manera general hubieron 10,700 observaciones en las primeras 3 columnas, la variación de observaciones en la cuarta columna se debe a las observaciones que no son consideradas como riesgosas a inundaciones.

Tabla VI.5: Resultados de la estimación de efectos rezagados de indicadores de estrés hídrico sobre el uso de suelo agrícola

	(1)	(2)	(3)	(4)
L.extremo_s	50.455* (20.313)	52.550* (20.640)	49.390* (19.536)	51.129** (19.589)
L2.extremo_s	44.680 (34.564)	31.121 (35.264)	37.769 (34.188)	40.381 (34.276)
L.extremo_h	-40.275* (16.272)	-43.770** (16.351)	-48.959** (15.084)	-47.097** (15.052)
L2.extremo_h	-27.944 (20.443)	-20.555 (20.779)	-23.898 (20.115)	-24.117 (20.164)
L.dias_sp_h	-4.224*** (0.565)	-4.486*** (0.595)	-3.854*** (0.562)	-3.888*** (0.564)
L2.dias_sp_h	-3.900*** (0.580)	-3.835*** (0.582)	-3.864*** (0.559)	-3.857*** (0.560)
L.dias_sp_s	2.236*** (0.351)	2.236*** (0.349)	1.811*** (0.328)	1.786*** (0.328)
L2.dias_sp_s	2.633*** (0.388)	2.847*** (0.402)	2.435*** (0.381)	2.437*** (0.384)

L.alta_p_s	7.705 (5.836)	8.093 (5.873)	11.811* (5.336)	10.971* (5.416)
L2.alta_p_s	0.035 (4.949)	-2.417 (5.207)	2.378 (4.738)	1.391 (4.746)
L.alta_p_h	-5.659** (2.163)	-6.649** (2.279)	-8.499*** (2.130)	-8.657*** (2.138)
L2.alta_p_h	4.429 (2.972)	6.261* (3.051)	3.298 (2.842)	3.583 (2.858)
N	10700	10700	10700	10632
R-adj	0.730	0.730	0.750	0.747
RMSE	376.360	376.117	361.590	362.190
Noches Cálidas	-	X	X	X
Piso Climático	-	-	X	X
Riesgo Inundación	-	-	-	X

La estimación de los modelos de las columnas (1) a (4) se realizó mediante Two-Way Fixed-Effects considerando el componente individual a nivel de provincia-canton-parroquia, y el efecto temporal mediante año. La selección de rezagos se realizó mediante el criterio de Okui (2004). Los errores están clusterizados a nivel de Grilla espacial. * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

Fuente: Elaborado por el autor

En la primera columna tenemos la estimación inicial sin controles, en la segunda columna se incluyen los controles de noches cálidas en época seca y húmeda en el año. La tercera columna tiene variables indicadoras de pisco climático y en la cuarta se incluyen indicadores de riesgo a inundaciones para el área agrícola, la cual elimina observaciones ya que hay zonas que no se clasifican como riesgosas.

Por ejemplo, los shocks de precipitaciones extremas en época seca son significativos positivos llegando a incrementar el área agrícola en 51.1 Ha, esto debido a que no son esperados en esa época del año, en contraste el efecto del segundo rezago ya no es significativo. En términos de las precipitaciones extremas en la época húmeda, donde si son esperados, la estimación gana robustez a medida que se añaden controles, siendo un primer rezago negativo y significativo al 5%, evidenciando una reducción de -47.09 Ha. además el efecto del segundo retardo mantiene relación del signo, la mitad de la magnitud del primer rezago, pero no de significancia.

Considerando los días sin precipitación de la época húmeda, se puede evidenciar que a medida que se añaden controles los efectos empiezan a reducir su magnitud, pero no su significancia ni signo, por lo que se vuelven más robustos. En este indicador, los dos rezagos son significativos, generando modificaciones de -3.88 Ha por día extra para el primer rezago y -3.85 Ha por día para el segundo rezago. Mientras que, en los días sin

precipitaciones de la época seca el signo es positivo, con una magnitud menor a 3 pero altamente significativo. Esto genera concordancia con las expectativas ya que en época seca se espera que existan más días sin precipitación.

Sobre la alta precipitación, se observa que en época seca a medida que se aumentan los controles la magnitud del primer rezago va en aumento, la significancia llega hasta el 10%, además que el signo se mantiene. Para el segundo rezago los efectos son no significativos. En contraste, en la época húmeda es notable que para el primer rezago la significancia y la magnitud van en aumento a medida que los controles se añaden, llegando a reducir -8.67 Ha de actividad agrícola, mientras que, el segundo rezago es positivo, pero no significativo.

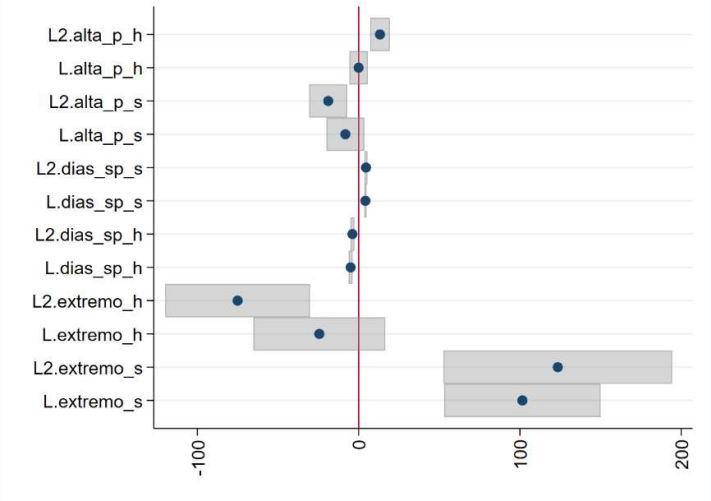
Al igual que la sección anterior, para estudiar efectos por grupos específicos hay que considerar el cálculo marginal de los indicadores de estrés hídrico por las agrupaciones de piso climático y de riesgo de inundaciones. Los resultados de estos efectos para el primer piso climático se observan en la **Figura VI.7**. De la cual podemos destacar que los rezagos de las precipitaciones extremas en época húmeda tienen un efecto marginal negativo, el segundo rezago siendo significativo. Los días sin precipitación en época húmeda tienen efectos marginales negativos significativos, mientras que los de época seca tienen efectos positivos. La alta precipitación tiene efectos significativos para el segundo rezago, en el caso de la época húmeda es positivo, en la época seca es negativo.

En la **Figura VI.8**, se evidencian los efectos marginales para el segundo piso climático. Este piso evidencia una actividad agrícola menos elástica ante los shocks de precipitación, ya que los efectos marginales no son significativos para los indicadores. Para el tercer piso climático, la figura expresa sus efectos marginales, este piso climático no presenta cambios ante los días sin precipitación, en contraste las precipitaciones extremas del segundo rezago tienen efectos significativos, negativo para la época seca y positivo para la época húmeda.

Para el cuarto piso climático, los cambios marginales se expresan en la

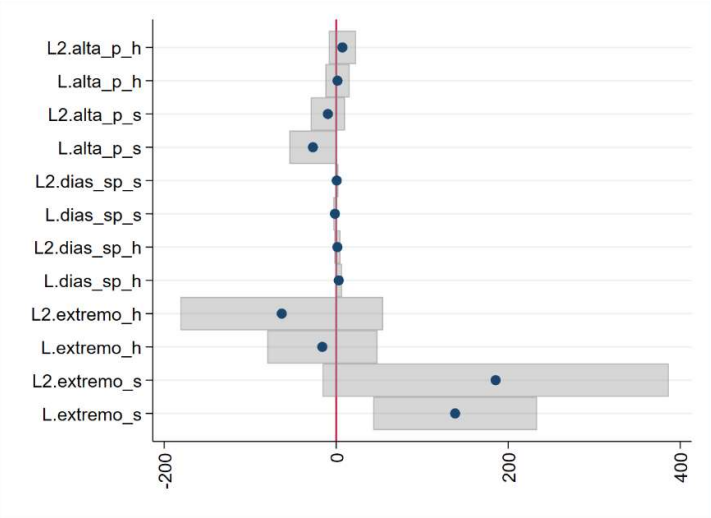
Figura VI.9. Las precipitaciones altas presentan efectos significativos para sus dos rezagos, en el caso de la época húmeda son negativos y en la época seca son positivos. Los días sin precipitación en época húmeda son significativos y negativos. Mientras que las precipitaciones extremas expresan una relación negativa significativa, tanto para la época seca y la época húmeda. Esto refleja una agricultura más sensible a la presencia de precipitaciones antes de que la ausencia de la misma.

Figura VI.7: Efectos marginales promedio de los indicadores de estrés hídrico por precipitaciones para el pisco climático 1 (entre 0 y 500 metros sobre el nivel del mar).



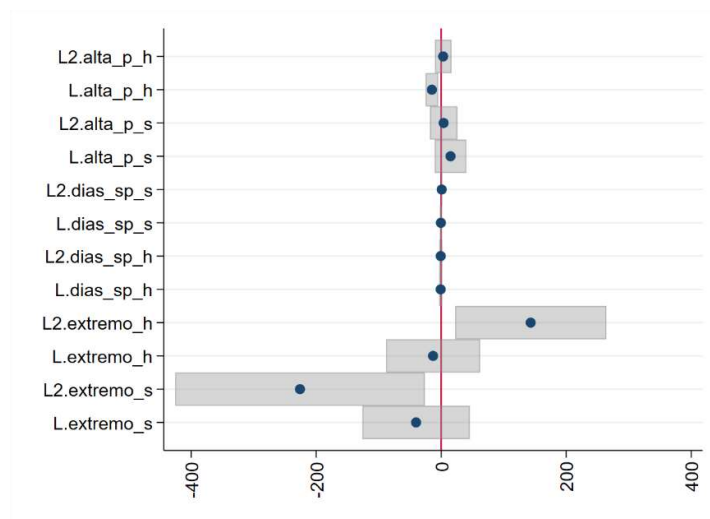
Fuente: Elaborado por el autor

Figura VI.8: Efectos marginales promedio de los indicadores de estrés hídrico por precipitaciones para el pisco climático 2 (entre 500 y 1000 metros sobre el nivel del mar).



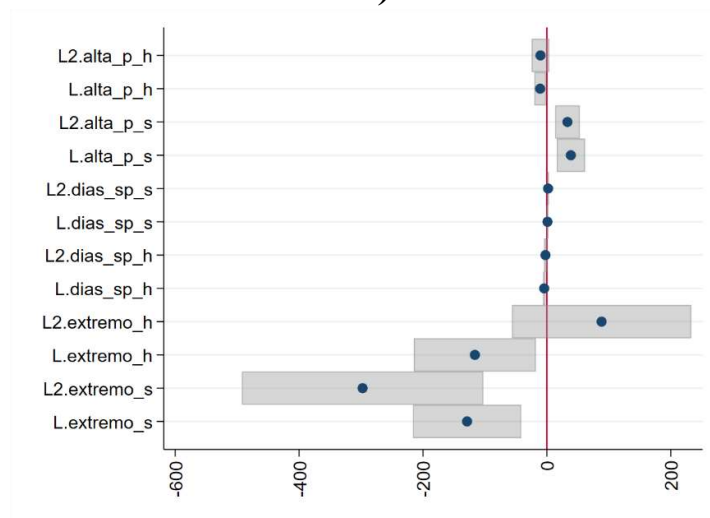
Fuente: Elaborado por el autor

Figura VI.9: Efectos marginales promedio de los indicadores de estrés hídrico por precipitaciones para el piso climático 3 (entre 1000 y 1500 metros sobre el nivel del mar).



Fuente: Elaborado por el autor

Figura VI.10: : Efectos marginales promedio de los indicadores de estrés hídrico por precipitaciones para el piso climático 4 (entre 1500 y 2000 metros sobre el nivel del mar).

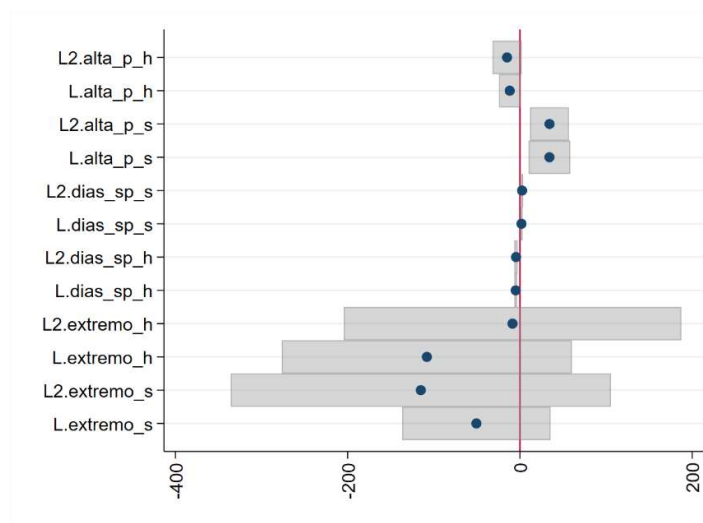


Fuente: Elaborado por el autor

En el piso climático 5, que agrupa a las unidades espaciales que están a alturas mayores a 2000 metros, se evidencian efectos marginales no significativos para los shocks de precipitaciones extremas. Los días sin precipitación presentan efectos significativos negativos para la época húmeda, en cambio positivos para la época seca. Las precipitaciones altas solo evidencian resultados significativos positivos en la época seca.

También se realizó el mismo análisis diferenciando los efectos por grupos de riesgo ante inundaciones. En la **Figura VI.12**, se estimaron los marginales para el grupo de bajo riesgo de inundaciones en el sector agrícola. Con respecto a las precipitaciones altas presentan efectos marginales positivos para la época húmeda, siendo significativo para el segundo rezago, en la época seca los efectos son negativos para los dos rezagos. Los días sin precipitación tienen efectos significativos en ambas etapas, para la época seca son positivos y en la época húmeda son negativos. Mientras que para la precipitación extrema en la época húmeda el efecto es negativo.

Figura VI.11: Efectos marginales promedio de los indicadores de estrés hídrico por precipitaciones para el pisco climático 5 (mayor a 2000 metros sobre el nivel del mar).



Fuente: Elaborado por el autor

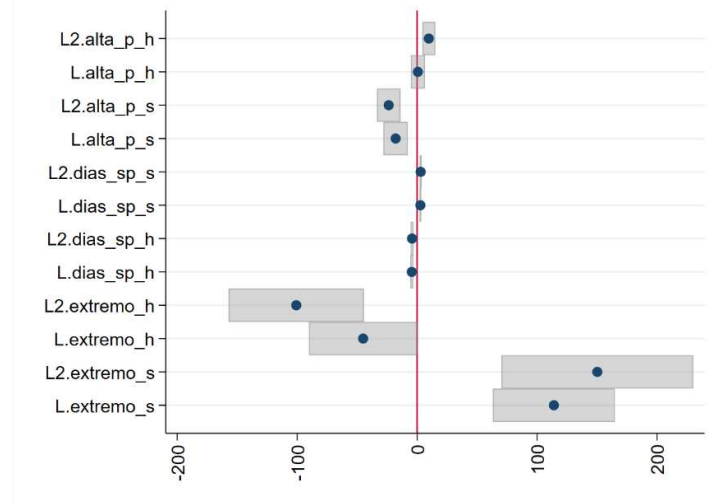
En la **Figura VI.13**, se grafican los efectos marginales para el grupo de riesgo medio. Este grupo presenta efectos marginales cero para los días sin precipitaciones. Mientras que las precipitaciones extremas presentan una alta variabilidad, pero no significativos para todos los rezagos en las dos estaciones climáticas.

Sin embargo, la precipitación alta presenta efectos positivos en la época seca y negativos en la época húmeda. Finalmente, para el grupo de alto riesgo, la **Figura VI.14** evidencia los efectos marginales de los indicadores de estrés hídrico. Si bien las precipitaciones extremas no evidencian efectos significativos, el signo se correlaciona con la practica agrícola. Los días sin precipitación en la época húmeda son negativos significativos y en la época seca son positivos. Para las precipitaciones altas en la época

seca no se reportan efectos significativos, mientras que para la época húmeda el rezago inmediato presenta efectos negativos significativos y positivos para el segundo rezago.

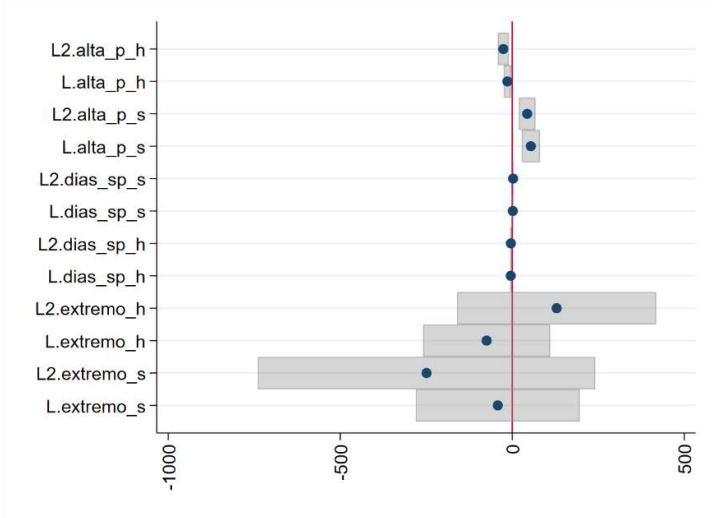
De este modo se expresan las caracterizaciones por grupos específicos ante variaciones en las precipitaciones de las unidades espaciales agrícolas. Los efectos marginales de las precipitaciones extremas en la época seca no fueron mayormente analizados debido a su baja ocurrencia. Por otro lado, el modelo general permite evidenciar relaciones dinámicas que están acorde a la teoría económica y a la producción agrícola. Por otro lado, los efectos marginales permiten caracterizar las dinámicas específicas para cada grupo estudiado.

Figura VI.12: Efectos marginales promedio de los indicadores de estrés hídrico por precipitaciones para el grupo de bajo riesgo de inundación en el sector agrícola.



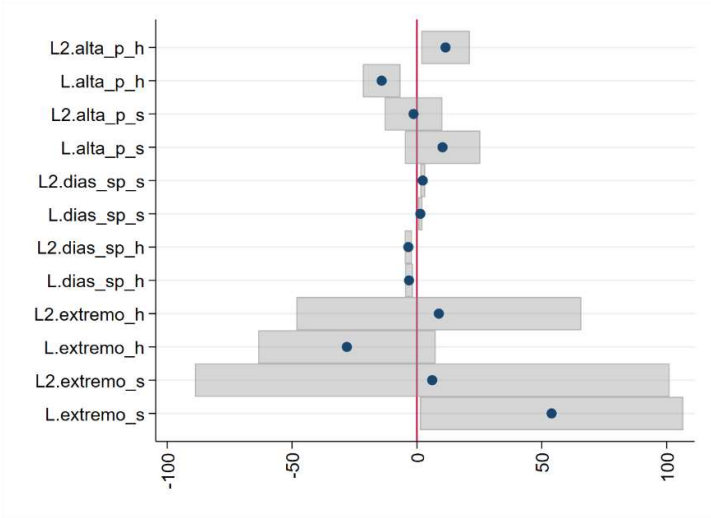
Fuente: Elaborado por el autor

Figura VI.13: Efectos marginales promedio de los indicadores de estrés hídrico por precipitaciones para el grupo de medio riesgo de inundación en el sector agrícola.



Fuente: Elaborado por el autor

Figura VI.14: Efectos marginales promedio de los indicadores de estrés hídrico por precipitaciones para el grupo de alto riesgo de inundación en el sector agrícola.



Fuente: Elaborado por el autor

VI.3 DISCUSIÓN

El presente trabajo se enfoca en caracterizar los efectos de los shocks de precipitación sobre la estrategia agrícola en el productor agrícola de la cuenca del río Guayas y río Esmeraldas a través de información satelital, agro productiva, de propiedades físicas de suelo y considerando fenómenos oceánicos como el fenómeno del niño.

En otros trabajos que exploraron los efectos de estrés hídrico por precipitaciones se afrontó una problemática semejante, pero enfocándose desde la perspectiva financiera principalmente. Por ejemplo, en Burke y Emerick (2016) las expectativas de ganancias del mercado agrícola fueron tratadas a través de las ganancias en mercados de futuros para los productos agrícolas estudiados, mientras que en Ji y Cobourn (2021) esta se midió a través de la proporción de cultivos específicos sobre el terreno agrícola, en cambio en Anton et al. (2013) se analizó a través de la implementación y adopción de instrumentos de riesgo agrícola como seguros.

Una limitación importante del estudio es que la producción agrícola estudiada no posee una desagregación precisa que permita hacer valoraciones de la producción, precios, porciones de cultivo o posicionamiento en mercados futuros a un nivel espacial mínimo como la unidad de producción, tampoco a una dimensión temporal que permita estudiar los cambios productivos. Sin embargo, las imágenes satelitales han permitido abordar esta problemática a través del estudio del cambio de uso de suelo, semejante a Ramsay-Bertgold-Heier (2020). Mientras que, la caracterización de la salud vegetal a través del Leaf Area Index permite entender los impactos directos sobre la cobertura agrícola de suelo (CLMS, 2018).

A diferencia del enfoque de Burke y Emerick (2016) el presente trabajo busca entender los cambios en el corto plazo de los agricultores, sin embargo, en ambos estudios se formaliza la capacidad adaptativa de los agricultores. En común ambos trabajos resaltan la sensibilidad de los agricultores ante las sequías prolongadas, ya que en este trabajo se evidencian efectos negativos persistentes para la salud vegetal como para el uso de suelo.

Comparando algunos puntos importantes entre la investigación de Xi y Cobourn (2021) y el presente trabajo, los shocks de precipitaciones afectan en patrones cíclicos a los agricultores, este punto es semejante en ambos trabajos según lo evidenciado en los rezagos de los shocks de precipitación sobre el Leaf Area Index en la Tabla 8. Otro punto

en común, es que las expectativas tienen poder de modificación en el periodo inmediato. Una manera de debatir este punto es con las estimaciones del efecto del fenómeno del niño sobre el Leaf Area Index, ya que el efecto del primer rezago es de -0.5 y es significativo al 1%, lo cual representa el 25% del espesor de la densidad vegetal agrícola en la cuenca del río Guayas, evidenciando las modificaciones inmediatas en el paisaje agrícola. Mientras que, en condiciones de adelantos, estos efectos son mínimos y sin efectos significativos en los adelantos mayores.

En términos específicos del presente trabajo, se caracteriza a la actividad agrícola primer piso climático como una vegetación con efectos inmediatos negativos al aumento de precipitaciones, con efectos negativos persistentes de sequías. Mientras que, en términos de extensión de cultivos, las sequías en época húmeda afectan negativamente reduciendo el cultivo en -4.9 Ha de manera inmediata y de -3.8 Ha de manera rezagada por día de sequía extra. Mientras que en términos de precipitaciones extremas la modificación de la estrategia agrícola se hace evidente al segundo periodo de haber experimentado la exposición, llegando a modificar hasta -75.02 Ha.

Los pisos climáticos entre 500 y 1500 metros presentan una actividad agrícola resiliente a shocks de precipitación, ya que los efectos marginales resultaron no significativos. Sin embargo, su vegetación presenta sensibilidad ante la ausencia de precipitaciones ya que los efectos inmediatos son significativos y negativos para la vegetación menor a 1000 metros, mientras que los efectos de los últimos 3 rezagos son más persistentes para las vegetaciones entre 1000 y 1500 metros.

Caracterizando a la actividad agrícola superior a los 1500 metros, la presencia de un día de precipitaciones altas tiene un efecto positivo en inmediato en la vegetación agrícola de entre 1.5% y 2.4% con respecto a la media de la vegetación de la cuenca del río Guayas. Sin embargo, el efecto retardado de hasta el tercer rezago es negativo. Esta vegetación es también sensible a la ausencia de precipitaciones, ya que los rezagos más retardados tienen un efecto negativo significativo en -0.05%.

En términos de caracterización de la estrategia agrícola, el piso climático de entre 1500 metros y 2000 metros presenta efectos negativos directos y retardados ante las precipitaciones extremas, teniendo un efecto directo de -116 Ha si hay presencia de lluvias extremas en la época húmeda. Además, las lluvias altas en la época húmeda también presentan reducciones inmediatas en la estrategia agrícola reduciendo el área productiva en -10.9 ha por cada día extra de precipitaciones, mientras que si son época seca aumentan en 30.69 Ha.

En cambio, sobre la agricultura mayor a 2000 metros de altura, la estrategia agrícola es más inelástica a los shocks de precipitación, esto debido a que las lluvias extremas no son comunes en dichas regiones, esto se refleja en la baja significancia de los resultados de lluvias extremas. Sin embargo, los días sin precipitación tienen efectos inmediatos en la estrategia agrícola. Semejantemente a los 1500 metros, los días de precipitación en época seca, ayudan a aumentar la frontera espacial de producción agrícola en 34 Ha por día de precipitaciones.

Entre algunos de los resultados a destacar, es la presencia de resultados positivos significativos para los días de precipitaciones extremas en la época seca. Este resultado tiene bajo nivel interpretativo, pero es coherente con la teoría y heurística agrícola, ya que si llueve en época de sequía se espera un efecto inmediato en la vegetación y en la agricultura.

Considerando las adaptaciones ex ante, la vegetación presenta modificaciones significativas, pero en términos de magnitud es muy cercano a cero, por lo que las anticipaciones a los eventos climáticos no pueden ser evidenciados bajo el esquema temporal planteado. Esto se cumple tanto para las precipitaciones extremas como los días de sequía.

Examinando los resultados de manera específica sobre las expectativas del fenómeno del niño, se puede entender que la actividad agrícola modifica la densidad vegetal cada semestre basado en experiencias de hasta 1 año de duración, ya que los rezagos mayores no son significativos. Sin embargo, el primer anticipo es significativo, lo que evidencia una capacidad de adaptación del agricultor en promedio ante los anuncios del fenómeno del niño.

Analizando los resultados para el sector agrícola con altos niveles de riesgo a inundaciones, se evidencian resultados elásticos, ya que los marginales son no significativos. Esto hace correlación con la heurística agrícola, debido a que esta área agrícola está caracterizada por altos niveles de concentración agrícola que ostentan cultivos extensivos de maíz, arroz y caña de azúcar, por lo que la producción a gran escala no permite evidenciar cambios representativos a pesar de recibir precipitaciones extremas o días extensivos sin precipitaciones. Sin embargo, la alta precipitación en época húmeda si es representativa, lo que evidencia las ligeras modificaciones específicas de este sector. Esto también se observa en los efectos marginales de las altas concentraciones agrícolas. Este patrón se repite en varios indicadores, por lo que el presente estudio refleja características específicas de los grandes productores con base en las características de

piso climático, de riesgo a inundaciones y productividad. A pesar de que los resultados no son significativos, evidencian una relación observada con la práctica agrícola por lo que es evidencia a favor del diseño de estudio.

Otras investigaciones que miden actividad agrícola bajo una temática semejante presentan resultados considerando periodos de tiempo semejantes, por lo que la extensión temporal del estudio no es una limitante relevante. Sin embargo, estos trabajos tienen información desagregada por tipo de cultivo en predios agrícolas, por lo que, son más precisos en cuestiones económicas, financieras y de estrategia agrícola. Esto, compone una limitante importante en el presente estudio, ya que la información recolectada no permite caracterizar un producto en específico y la salud vegetal medida a través del LAI, presenta resultados más precisos sobre producción, biomasa o etapa fenológica cuando se tiene identificado el cultivo en específico.

Por otro lado, el cambio de uso de suelo es una medida ampliamente utilizada para medir expansión urbana, planificación industrial, cambios en los ecosistemas no modificados, áreas protegidas y por su puesto la actividad agrícola. Las investigaciones recientes se concentran en las predicciones espaciales, pero los estudios de economía agrícola encuentran patrones productivos, sensibilidades y capacidades de adaptación. El presente trabajo se fortalece al analizar las capacidades de modificar la estrategia agrícola, encontrando un horizonte temporal consistente de dos años para los cambios en las áreas agrícolas productivas.

En resumen, los trabajos en economía agrícola han estudiado las expectativas ex ante y ex post de las ganancias de los agricultores, las producciones por porcentaje de uso de suelo y cambios en las áreas productivas. El presente trabajo destaca porque caracteriza al agricultor por su elasticidad ante shocks de precipitación sobre el uso de suelo y la vegetación, basándose en los pisos climáticos, extensión de producción y riesgo climático. La data recolectada, a través del modelo planteado, permite evidenciar los comportamientos, expectativas y sensibilidades de acuerdo a la teoría económica y la heurística agrícola.

CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES

La agricultura en el Ecuador es un sector económico importante, produciendo el 12% del VAB nacional si se considera a la agroindustria y a la actividad agrícola primaria de manera conjunta (SIPA, 2019). Además de que es fuente de trabajo directo e indirecto al 30% del país (INEC, 2024). Sabiendo esto, se deben considerar los monitoreos de cambio climático en el país realizados por el MAATE en 2022, prediciendo que en el largo plazo el estrés hídrico será evidente para las cuencas del río Guayas y Esmeraldas, llegando a niveles que ponen en riesgo incluso al abastecimiento para la actividad biológica natural.

De este modo nos podemos enmarcar en un modelo económico teórico en el cual el agricultor optimiza una función de producción basándose en sus inputs productivos y en las expectativas del componente climático, generando un estrés que se evidencia en modificaciones de la estrategia agrícola. Esto nos permite enmarcar la actividad agrícola a través de un modelo de expectativas ex ante y ex post que se puede validar con data productiva agrícola, midiendo los cambios de cultivos, uso de suelo, disponibilidad de agua y mano de obra.

Este marco teórico permite desarrollar metodologías implementadas por múltiples trabajos, uno de los enfoques ha sido medir cambios en las expectativas de los agricultores sobre sus ganancias ante los cambios climáticos, principalmente en precipitaciones. Otros trabajos han medido la adopción de instrumentos financieros para cubrirse ante eventos climáticos. En contextos más lejanos han permitido medir migración de la mano de obra agrícola por tendencias de precipitación.

En el presente trabajo, bajo el esquema descrito se planteó medir la actual resiliencia climática ante estrés por precipitaciones de la actividad agrícola en las cuencas del río Guayas y Esmeraldas a través de las modificaciones de la estrategia agrícola por el uso de suelo agrícola y por los impactos directos sobre la salud vegetal de la cobertura agrícola. Para esto se utilizó un modelo de panel dinámico con efectos retardados de indicadores de precipitación alta, extrema, días sin precipitación y fenómeno del niño, con el cual a través de los efectos marginales se pudo caracterizar a los grupos específicos de agricultores por concentración de actividad agrícola, piso climático y nivel de riesgo de inundación.

De manera general y a nivel de grilla espacial, la agricultura a menos de 500 m de altura, en promedio reduce su extensión en 4.9 ha por cada día de sequía extra en época húmeda. Además, el efecto inmediato del ENOS, reduce en un 25% la densidad vegetal

agrícola para este piso climático, mientras que, en términos de estrategia, la frontera de uso de suelo se reduce en 75 ha. Para la agricultura entre 500 y 1500 metros de altura, el estrés por lluvias no tiene impacto significativo, sin embargo, las sequías sostenidas representan reducciones de alrededor de 3 ha por día sin precipitación. Por otro lado, la agricultura sostenida a más de 2000 m de altura, es resiliente a los shocks de sequías, pero sensible a las precipitaciones extremas evidenciando reducciones de 119 ha ante la presencia de lluvias extremas.

En resumen, los resultados evidencian las propiedades de la vegetación agrícola a diferentes pisos climáticos ante sequías y lluvias fuertes. También se caracterizó a la vegetación agrícola de los grandes y pequeños productores a través de la sensibilidad del LAI ante los shocks de precipitación. Mientras que, a nivel de riesgo de inundación, la estrategia agrícola exhibe cambios en su patrón con retardo de dos años. Evidenciando que, el agricultor tiene poca capacidad de adaptación de modo inmediato, pero lo puede lograr en el mediano plazo.

En conclusión, la agricultura de la cuenca del río Guayas y Esmeraldas, presenta una dinámica compleja entre niveles de concentración agrícola, pisos climáticos y cultivos producidos. Pero, los esfuerzos del presente trabajo han permitido resaltar los puntos fuertes y débiles de las expectativas de cada perfil de agricultor ante los eventos de variabilidad en precipitaciones.

REFERENCIAS

Afroz, M., Chen, G., & Anandhi, A. (2023). Drought- and heatwave-associated compound extremes: A review of hotspots, variables, parameters, drivers, impacts, and analysis frameworks. *Earth Science*, 1-25.

doi:<https://doi.org/10.3389/feart.2022.914437>

Amare, M., Jensen, N. D., Shiferaw, B., & Cissé, J. D. (2018). Rainfall shocks and agricultural productivity: Implication for rural household consumption. *Agricultural Systems*, 166, 79–89. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.07.014>

Antón, J., Cattaneo, A., Kimura, S., & Lankoski, J. (2013). Agricultural risk management policies under climate uncertainty. *Global Environmental Change*, 23(6), 1726-1736. doi:<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2013.08.007>

Araque Avellano, M., Váscquez, M., Mancheno, A., Álvarez, C., Prehn, C., Cevallos, C., Ortiz, L. (2019). *Cuencas Hidrográficas*, Universidad Politécnica Salesiana. Quito, Ecuador. ISBN: 978-9978-10-380-7. Disponible online en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/19038>

Arora, G., Feng, H., Anderson, C. J., & Hennessy, D. A. (2019). Evidence of climate change impacts on crop comparative advantage and land use. *Agricultural Economics*. doi:10.1111/agec.12551

Arslan A., Belotti F., Lipper L., (2016). Smallholder productivity and weather shocks: Adoption and impact of widely promoted agricultural practices in Tanzania. *CEIS Tor Vergata, Research Series*, Vol. 14, Issue 10, No. 388. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2017.03.005>

Arteaga J., de Roux N., Gáfaró M., Ibáñez A.M., Pellegrina H.S., (2025), *Distribución del Tamaño de las Fincas, Choques Climáticos y Productividad Agrícola*. Centro de Estudios sobre Desarrollo Económico, Universidad de los Andes, Colombia. ISSN 1657-7191. doi: <https://doi.org/10.32468/be.1305>

Baez-Gonzalez, D.A., Kiniry, J., Maas, S., Tiscareno, M., Macias, J., Mendoza, J., Richardson, C., Salinas, J., and Manjarrez, J. (2005). Large-Area Maize Yield Forecasting Using Leaf Area Index Based Yield Model. *Agronomic Modeling*,

Agronomy Journal of American Society of Agronomy. Doi:
<https://doi.org/10.2134/agronj2005.0418>

Banco Interamericano de Desarrollo (BID), (2024). Repercusiones económicas del cambio climático y del fenómeno El Niño en la región Andina. Ideas que cuentan, Disponible en línea: <https://blogs.iadb.org/ideas-que-cuentan/es/repercusiones-economicas-del-cambio-climatico-y-del-fenomeno-el-nino-en-la-region-andina/>

Baret, F., Weiss M., Verger, A., Smets, B. (2016). Global Land component of the Copernicus Land Service: Leaf Area Index product (300m resolution, Version 1, based on PROBA-V). Available at <https://land.copernicus.eu/global/products/lai>

Burke, M., & Emerick, K. (2016). Adaptation to Climate Change: Evidence from US Agriculture. *American Economic Journal Economic Policy*, 8(3), 106–140.
<https://doi.org/10.1257/pol.20130025>

Cadilhac, L., Torres, R., Calles, J., Vanacker, V., & Calderón, E. (2017). Desafíos para la investigación sobre el cambio climático en Ecuador. *Neotropical Biodiversity*, 3(1), 168–181. <https://doi.org/10.1080/23766808.2017.1328247>

Caloiero, T., Coscarelli, R., & Pellicone, G. (2021). Trend Analysis of Rainfall Using Gridded Data over a Region of Southern Italy. *Water*, 13(16), 2271.
<https://doi.org/10.3390/w13162271>

Calzada, J., Gisbert, M., & Moscoso, B. (2023). The Hidden Cost of bananas: The effects of pesticides on newborns' health. *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*, 10(6), 1623–1663. <https://doi.org/10.1086/725349>

Cardell, M. F., Amengual, A., Romero, R., & Ramis, C. (2020). Future extremes of temperature and precipitation in Europe derived from a combination of dynamical and statistical approaches. *International Journal of Climatology*, 40(11), 4800-4827.
doi:<https://doi.org/10.1002/joc.6490>

Climpact. (2025). *Climpact - Climate Extremes Indices and Software*. <https://climpact-sci.org/indices/>

Comisión Económica para América Latina y El Caribe (CEPAL), (2015). La economía del cambio climático en América Latina y el Caribe, Paradojas y desafíos del desarrollo sostenible. Organización de las Naciones Unidas y Euroclima. Reporte en línea: <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/ca0445d3-e3f3-4f40-a5ff-057a9a34f016/content>

Copernicus Climate Change Service, Climate Data Store, (2024): ERA5 post-processed daily-statistics on single levels from 1940 to present. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS), DOI: 10.24381/cds.4991cf48 (Accessed on 15-January-2025)

Copernicus Land Monitoring Service (2018). Coordination of Information on the Environment (CORINE) Land Cover (LCL). <https://land.copernicus.eu/en/products/corine-land-cover>

Cui, X. (2020a). Beyond Yield Response: Weather Shocks and Crop Abandonment. *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*. doi:10.1086/709859

Cui, X. (2020b). Climate change and adaptation in agriculture: Evidence from US cropping patterns. *Journal of Environmental Economics and Management*, 101, 102306. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2020.102306>

D'Agostino, A. L., & Schlenker, W. (2016). Recent weather fluctuations and agricultural yields: Implications for climate change. *Agricultural Economics*, 47(S1), 159-171. <https://doi.org/10.1111/agec.12315>

Deaconu, A., Berti, P. R., Cole, D. C., Mercille, G., & Batal, M. (2021). Agroecology and nutritional health: A comparison of agroecological farmers and their neighbors in the Ecuadorian highlands. *Food Policy*, 101, 102034. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2021.102034>

Dell, M., Jones, B. F., & Olken, B. A. (2014). What Do We Learn from the Weather? The New Climate-Economy Literature. *Journal of Economic Literature*, 52(3), 740-798. <https://doi.org/10.1257/jel.52.3.740>

- Deryugina, T., & Hsiang, S. (2017). The Marginal Product of Climate (No. w24072; p. w24072). National Bureau of Economic Research. <https://doi.org/10.3386/w24072>
- Deschênes, O., & Greenstone, M. (2007). The Economic Impacts of Climate Change: Evidence from Agricultural Output and Random Fluctuations in Weather. *American Economic Review*, 97(1), 354-385. <https://doi.org/10.1257/aer.97.1.354>
- Earnhart, D., & Hendricks, N. P. (2023). Adapting to water restrictions: Intensive versus extensive adaptation over time differentiated by water right seniority. *American Journal of Agricultural Economics*, 105(5), 1458-1490. <https://doi.org/10.1111/ajae.12361>
- Eche, D. (2018). Migración y renovación generacional en la agricultura familiar indígena: estudio de caso Otavalo-Ecuador. *Siembra*, 5(1), 001–015. <https://doi.org/10.29166/siembra.v5i1.1423>
- European Space Agency (2024). Copernicus Global Digital Elevation Model. Distributed by OpenTopography. <https://doi.org/10.5069/G9028PQB>. Accessed: 2025-01-14
- Fang, H., Baret, F., Plummer, S., & Schaepman-Strub, G. (2019). An overview of global leaf area index (LAI): Methods, products, validation, and applications. *Reviews of Geophysics*, 57, <https://doi.org/10.1029/2018RG000608>
- Fernández, J. M., & Pazzona, M. (2017). Evaluating the spillover effects of the Colombian conflict in Ecuador. *Defence and Peace Economics*, 30(3), 324–348. <https://doi.org/10.1080/10242694.2017.1328562>
- Ferrera-Cerrato, R., Alarcón, A. (2001). La microbiología del suelo en la agricultura sostenible. *Ciencia Ergo Sum*, vol. 0, n°2. ISSN: 1405-0269.
- Filho, W. L. F. C., De Oliveira-Júnior, J. F., Da Silva, C. A., Junior, & De Barros Santiago, D. (2021). Influence of the El Niño–Southern Oscillation and the synoptic systems on the rainfall variability over the Brazilian Cerrado via Climate Hazard Group InfraRed Precipitation with Station data. *International Journal of Climatology*, 42(6), 3308–3322. <https://doi.org/10.1002/joc.7417>

Food and Agriculture Organization (FAO), (2023). Cómo alimentar al mundo en 2050. Reporte en línea:
https://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/synthesis_papers/C%C3%B3mo_alimentar_al_mundo_en_2050.pdf

Frappart, F., Bourrel, L., Brodu, N., Salazar, X. R., Baup, F., Darrozes, J., & Pombosa, R. (2017). Monitoring of the Spatio-Temporal dynamics of the floods in the Guayas Watershed (Ecuadorian Pacific Coast) using Global Monitoring ENVISAT ASAR images and rainfall data. *Water*, 9(1), 12. <https://doi.org/10.3390/w9010012>

Frontuto, V., Dalmazzone, S., Salcuni, F., & Pezzoli, A. (2020). Risk aversion, inequality and economic evaluation of flood damages: a case study in Ecuador. *Sustainability*, 12(23), 10068. <https://doi.org/10.3390/su122310068>

Girard, J., Delacote, P., & Leblois, A. (2021). Agricultural households' adaptation to weather shocks in Sub-Saharan Africa: implications for land-use change and deforestation. *Environment and Development Economics*, 1–23.
[doi:10.1017/s1355770x2000056x](https://doi.org/10.1017/s1355770x2000056x)

Global Administrative Areas (GADM). (2023). *GADM database of Global Administrative Areas, version 2.8* [Shapefile de Ecuador Nivel 3].
<https://gadm.org/maps/ECU.html>

Goddard, L., & Dilley, M. (2005). El Niño: Catastrophe or Opportunity. *Journal of Climate*, 651-665. [doi:https://doi.org/10.1175/JCLI-3277.1](https://doi.org/10.1175/JCLI-3277.1)

Grabowski, P. P., & Kerr, J. M. (2014). Resource constraints and partial adoption of conservation agriculture by hand-hoe farmers in Mozambique. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 12(1), 37-53.
[doi:https://doi.org/10.1080/14735903.2013.782703](https://doi.org/10.1080/14735903.2013.782703)

Guillaume Jégo, Elizabeth Pattey, Jiangui Liu. (2022). Using Leaf Area Index, retrieved from optical imagery, in the STICS crop model for predicting yield and biomass of field crops. *Field Crops Research*, Volume 131, 2012, Pages 63-74, ISSN 0378-4290,
<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.02.012>.

Hsiang, S. (2016). Climate Econometrics. *Annual Review of Resource Economics*, 8(1), 43–75. <https://doi.org/10.1146/annurev-resource-100815-095343>

Hurtado F., Alvarado H., Pereda J., Curbelo L., Vasquez R., Perlaza R., (2019). Caracterización de sistemas de producción agrícolas con ganado vacuno en la cuenca baja del río Guayas, provincia de Los Ríos, Ecuador. *Manejo y Alimentación*, ISSN 2224-7920. <http://scielo.sld.cu/pdf/rpa/v31n1/2224-7920-rpa-31-01-1.pdf>

Instituto Nacional de Estadística y Censos del Ecuador (INEC), (2022). Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua 2021, del conjunto de datos de uso público (25 de Mayo de 2022), suministrado por el Instituto Nacional de Estadística y Censos del Ecuador.

Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), (2024). Principales Resultados de la Encuesta Nacional de Empleo, Desempleo y Subempleo (ENEMDU). Disponible en línea: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/enemdu-anual/>

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), (2023). Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 1-34, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001

Jagnani, M., Barrett, C. B., Liu, Y., & You, L. (2021). Within-Season Producer Response to Warmer Temperatures: Defensive Investments by Kenyan Farmers. *The Economic Journal*, 131(633), 392-419. <https://doi.org/10.1093/ej/ueaa063>

Jessoe, K., Manning, D. T., & Taylor, J. E. (2018). Climate Change and Labour Allocation in Rural Mexico: Evidence from Annual Fluctuations in Weather. *The Economic Journal*, 128(608), 230-261. <https://doi.org/10.1111/econj.12448>

Ji, X., Cobourn, K.M. (2021). Weather Fluctuations, Expectation Formation, and Short-Run Behavioral Responses to Climate Change. *Environ Resource Econ* 78, 77–119. <https://doi.org/10.1007/s10640-020-00525-x>

- Katz, R. W., & Brown, B. G. (1992). Extreme events in a changing climate: Variability is more important than averages. *Climate Change*, 21, 289-302. doi:
<https://doi.org/10.1007/BF00139728>
- Khosravi, M., & Boshraadi, H. M. (2018). Agricultura Economic Dynamics in a Bayesian DSGE Model for Iran. *Iranian Economic Review*, 24(1), 267-297.
doi:10.22059/ier.2020.74482
- Ledger, M. E., & Milner, A. M. (2015). Extreme events in running waters. *Freshwater Biology*, 60(12), 2455-2460. doi:<https://doi.org/10.1111/fwb.12673>
- Letta, M., Montalbano, P., & Paolantonio, A. (2024). Understanding the climate change-migration nexus through the lens of household surveys: An empirical review to assess data gaps. *Journal of Economic Surveys*, 38(4), 1234-1275.
<https://doi.org/10.1111/joes.12584>
- MAATE. (2022). Cuarta Comunicación Nacional y Segundo Informe Bienal de Actualización del Ecuador a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE). Quito, Ecuador.
- Malaekkeh, S. M., Shiva, L., & Safaie, A. (2024). Investigating the economic impact of climate change on agriculture in Iran: Spatial spillovers matter. *Agricultural Economics*, 55(3), 433–453. <https://doi.org/10.1111/agec.12821>
- MapBiomass (2024). Colección [versión 1] de la Serie anual de Mapas de Cobertura y Uso del Suelo de Amazonía, consultada el 29/1/2025 a través del enlace:
<https://amazonia.mapbiomas.org/terminos-de-uso/>
- Matsa, M. (2021). *Climate Change and Agriculture in Zimbabwe*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-51346-7>
- McPhillips, L. E., Chang, H., Chester, M. V., Depietri, Y., Friedman, E., Grimm, N. B., . . . Shiva, J. S. (2018). Defining Extreme Events: A Cross-Disciplinary Review. *Earth's Future*, 6(3), 441-445. doi:<https://doi.org/10.1002/2017EF000686>

Mendelsohn, R., Nordhaus, W. D., & Shaw, D. (1994). The Impact of Global Warming on Agriculture: A Ricardian Analysis. *The American Economic Review*, 84(4), 753-771. JSTOR.

Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). (2022). MAPAS DE RIESGOS AGROCLIMÁTICOS POR INUNDACIÓN, SEQUÍA Y HELADA EN EL ECUADOR CONTINENTAL, AÑO 2022. Dirección de Generación de Geoinformación Agropecuaria. Disponible en:
<http://geoportal.agricultura.gob.ec/geonetwork/srv/spa/catalog.search#/metadata/2f9bf165-e160-4edb-928a-994af426e7c3>

Ministerio de Salud Pública (MSP), (2002). Fenómeno del Niño en Ecuador. Organización Panamericana de la Salud. Disponible en línea
<https://www.eird.org/estrategias/pdf/spa/doc12863/doc12863-10.pdf>

Ministerio del Ambiente, Agua y Transformación Ecológica (MAATE) (2022). Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC) Ecuador: 2022-2027. Quito, Ecuador.

National Weather Service (NWS), (n.d.). Cold & Warm Episodes by Season. Climate Prediction Center, Oceanic El Niño Index (ONI). Blog en línea:
https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php

Nes K., Schaefer K.A., Gammans M., Scheitrum D.P., (2023). Extreme weather events, climate expectations, and agricultural export dynamics. *American Journal of Agricultural Economics*. 2025:1-20. DOI: 10.1111/ajae.12505

Niggli, L., Huggel, C., Muccione, V., Neukom, R., & Salzmänn, N. (2022). Towards improved understanding of cascading and interconnected risks from concurrent weather extremes: Analysis of historical heat and drought extreme events. *Plos Climate*. doi:<https://doi.org/10.1371/journal.pclm.0000057>

Okui, R. (2004). The optimal choice of moments in dynamic panel data models. Department of Economics, University of Pennsylvania, Job Market Paper.

- Olesen, J. E., & Bindi, M. (2002). Consequences of climate change for European agricultural productivity, land use and policy. *European Journal of Agronomy*, 16(4), 239–262. doi:10.1016/s1161-0301(02)00004-7
- Peterson, T. C., Karl, T. R., Kossin, J. P., Kunkel, K. E., Lawrimore, J. H., McMahon, J. R., . . . Yin, X. (2013). Changes in weather and climate extremes: State of knowledge relevant to air and water quality in the United States. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 64:2, 184-197. doi:10.1080/10962247.2013.851044
- Portilla-Farfán, F. (2018). *Agroclimatología del Ecuador*. Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador. ISBN UPS: 978-9978-10-310-4
- Prein, A. F., & Gobiet, A. (2017). Impacts of uncertainties in European gridded precipitation observations on regional climate analysis. *International Journal of Climatology*, 37(1), 305–327. <https://doi.org/10.1002/joc.4706>
- Ramsey, S. M., Bergtold, J. S., & Heier Stamm, J. L. (2021). Field-Level Land-Use Adaptation to Local Weather Trends. *American Journal of Agricultural Economics*, 103(4), 1314-1341. <https://doi.org/10.1111/ajae.12157>
- Reidsma P., Ewert F., Lansink A., Leemans R. (2010). Adaptation to climate change and climate variability in European agriculture: The importance of farm level responses. *European Journal of Agronomy*, vol. 32, p. 91-102. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2009.06.003>
- República del Ecuador, Ministerio del Ambiente (MAE, 2012). *Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC) 2012–2025*.
- Schmitt, J., Offermann, F., Söder, M., Frühauf, C., & Finger, R. (2022). Extreme weather events cause significant crop yield losses at the farm level in German agriculture. *Food Policy*, 112, 102359. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2022.102359>
- Secretaría de Información Productiva Agropecuaria (SIPA), (n.d.). *Indicadores Agroeconómicos*, Ministerio de Agricultura y Ganadería. Foro en línea: <https://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/indicador-agroeconomico>

Secretaria Nacional de Gestión de Riesgos (SNGR), (2015). SGR confirma la presencia del Fenómeno del Niño en Ecuador, Boletín de Prensa, Disponible en línea: <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/sgr-confirma-la-presencia-del-fenomeno-del-nino-en-ecuador/>

Secretaria Nacional de Gestión de Riesgos (SNGR), (2024). RESOLUCIÓN Nro. SNGR-100-2024. Junio del 2024, registro oficial.

Sedova, B., & Kalkuhl, M. (2020). Who are the climate migrants and where do they go? Evidence from rural India. *World Development*, 129, 104848. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2019.104848>

Seneviratne, S. I., Nicholls, N., Easterling, D., Goodess, C. M., Kanae, S., Kossin, J., . . . Vlad. (2012). Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation: Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, 109-230. doi:<https://doi.org/10.1017/CBO9781139177245.006>

Shang, L., Wang, J., Schäfer, D., Heckelee, T., Gall, J., Appel, F., & Storm, H. (2024). Surrogate modelling of a detailed farm-level model using deep learning. *Journal of Agricultural Economics*, 75(1), 235-260. <https://doi.org/10.1111/1477-9552.12543>

Shortle, J. S., Ribaud, M., Horan, R. D., & Blandford, D. (2012). Reforming Agricultural Nonpoint Pollution Policy in an Increasingly Budget-Constrained Environment. *Environmental Science & Technology*, 46(3), 1316-1325. doi:<https://doi.org/10.1021/es2020499>

Sivakumar, M. V. (2020). Climate Extremes and Impacts on Agriculture. En *Agroclimatology: Linking Agriculture to Climate*, Volume 60.

Stetter, C., Huber, R., & Finger, R. (2024). Agricultural land use modeling and climate change adaptation: A reinforcement learning approach. *Applied Economic Perspectives and Policy*, 46(4), 1379-1405. <https://doi.org/10.1002/aepp.13448>

Taifeng Dong, Jiangui Liu, Budong Qian, Liming He, Jane Liu, Rong Wang, Qi Jing, Catherine Champagne, Heather McNairn, Jarrett Powers, Yichao Shi, Jing M. Chen, Jiali Shang. (2020). Estimating crop biomass using leaf area index derived from Landsat

8 and Sentinel-2 data. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume 168, 2020, Pages 236-250, ISSN 0924-2716.

<https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.08.003>.

Tauzer, E., Borbor-Cordova, M. J., Mendoza, J., De La Cuadra, T., Cunalata, J., & Stewart-Ibarra, A. M. (2019). A participatory community case study of periurban coastal flood vulnerability in southern Ecuador. PLoS ONE, 14(10), e0224171.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0224171>

Taylor, J. E., & Adelman, I. (2003). Agricultural Household Models: Genesis, Evolution, and Extensions. Review of Economics of the Household, 1, 33-58.

doi:<https://doi.org/10.1023/A:1021847430758>

Timmins, C. (2006). Endogenous Land use and the Ricardian Valuation of Climate Change. Environmental & Resource Economics, 33(1), 119-142.

<https://doi.org/10.1007/s10640-005-2646-9>

Torres, B., Fischer, R., Vargas J.C. y Günter S. (Eds) (2020). Deforestación en paisajes forestales tropicales del Ecuador: bases científicas para perspectivas políticas. Universidad Estatal Amazónica - Instituto Johann Heinrich von Thünen. Puyo, Ecuador. Serie de publicaciones misceláneas del INABIO - Nro. 15. 172 pp.

Towe, C. A., Klaiber, H. A., & Wrenn, D. H. (2017). Not my problem: Growth spillovers from uncoordinated land use policy. Land Use Policy, 67, 679–689.

<https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.06.019>

Towe, C. A., Klaiber, H. A., & Wrenn, D. H. (2017). Not my problem: Growth spillovers from uncoordinated land use policy. Land Use Policy, 67, 679–689.

<https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.06.019>

United Nations Organization (ONU), (n.d.). Alimentación, Desafíos Globales, blog en línea. disponible en línea: <https://www.un.org/es/global-issues/food>

Universidad del Azuay. (2024). Portal de Información Espacial del Ecuador, colección de hidrografía, mapa de cuencas hidrográficas.

<https://gis.uazuay.edu.ec/descargas/promsa/ecuador.htm>

Vanderheiden, S. (2004). Knowledge, Uncertainty, and Responsibility: Responding to Climate Change. *Public Affairs Quarterly*, 18(2), 141-158.
doi:<https://www.jstor.org/stable/40441377>

Verger, A., Descals, A., (2021). Global Land component of the Copernicus Land Service: Leaf Area Index product (300m resolution, Version 1, based on Sentinel-3). Available at <https://land.copernicus.eu/global/products/lai>

Vicente-Serrano, S. M., Aguilar, E., Martínez, R., Martín-Hernández, N., Azorin-Molina, C., Sanchez-Lorenzo, A., Kenawy, A. E., Tomás-Burguera, M., Moran-Tejeda, E., López-Moreno, J. I., Revuelto, J., Beguería, S., Nieto, J. J., Drumond, A., Gimeno, L., & Nieto, R. (2016). The complex influence of ENSO on droughts in Ecuador. *Climate Dynamics*, 48(1–2), 405–427. <https://doi.org/10.1007/s00382-016-3082-y>

Vroege, W., Meraner, M., Polman, N., Storm, H., Heijman, W., & Finger, R. (2020). Beyond the single farm – A spatial econometric analysis of spill-overs in farm diversification in the Netherlands. *Land Use Policy*, 99, 105019.
<https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.105019>

Walker, S. (2017). Farms, Fertiliser, and Financial Frictions: Yields from a DSGE Model. *IMF Working Papers*, 52.

Wimmer, S., Stetter, C., Schmitt, J., & Finger, R. (2024). Farm-level responses to weather trends: A structural model. *American Journal of Agricultural Economics*, 106(3), 1241-1273. <https://doi.org/10.1111/ajae.12421>

Zaneta Kubik & Mathilde Maurel (2016) Weather Shocks, Agricultural Production and Migration: Evidence from Tanzania, *The Journal of Development Studies*, 52:5, 665-680, DOI: 10.1080/00220388.2015.1107049

Zappalà, G. (2024). Adapting to climate change accounting for individual beliefs. *Journal of Development Economics*, 169, 103289.
<https://doi.org/10.1016/j.jdevco.2024.103289>

Zhang, W., & Yang, X. (2020). Extreme Weather and Climate Events: Physical Drivers, Modeling and Impact Assessment. *Journal of Marine Science and Engineering*, 8(6).
doi:<https://doi.org/10.3390/jmse8060448>

