

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL**

**ESTUDIO DEL IMPACTO DE LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA  
SOBRE EL RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE MAÍZ EN  
ECUADOR**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA  
AMBIENTAL**

**JACQUELIN ANDREA MONTOYA HIDALGO**  
jacquelin.montoya@epn.edu.ec

**DIRECTOR: DR. LENIN VLADIMIR CAMPOZANO PARRA**  
lenin.campozano@epn.edu.ec

**Quito, noviembre 2019**

## DECLARACIÓN

Yo, Jacquelin Andrea Montoya Hidalgo, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

JACQUELIN MONTOYA

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Jacquelin Andrea Montoya Hidalgo, bajo mi supervisión.

---

**Dr. Lenin Campozano**

DIRECTOR DE PROYECTO

## AGRADECIMIENTOS

A mi tía Fanny, por haber guiado mis pasos con dedicación, paciencia y amor, por ser el mejor ejemplo de perseverancia, bondad, y valentía.

A Anita, Karina, Fausto, Karina Francisca, Fausto Alberto, Domenika y Alicia, por sus locuras, apoyo incondicional y cariño, por ser mi familia.

Al Dr. Lenin Campozano, por la paciencia y su gran disposición para lograr culminar este proyecto.

Al Dr. Marcos Villacís, por la confianza depositada en mí para desarrollar este proyecto.

Al Dr. Xavier Zapata Ríos, por darme la oportunidad de formar parte de su equipo, lo cual fue una experiencia enriquecedora tanto profesional como personal.

Al Dr. Miguel Flores, por su carisma y por haberme compartido valiosos conocimientos, involucrándome en el mundo de la programación con R.

Al Dr. José A. Guijarro y al Ing. Leandro Robaina, por su apoyo, principalmente para superar inconvenientes metodológicos.

A Jordan, por ser como Felipe para Lavinia.

A Iván, por las buenas conversaciones, las ideas, los consejos, y su amistad incondicional.

A Fernando, por las clases de química, matemáticas, y geometría. Sin ti no habría llegado hasta aquí.

A Gaby, Majo, Et, Flaca, Lichita, Aracely, Gamaliel, Tina, Robert y Migue, por su paciencia, cariño y amistad.

A Carmencita, Sandrita, Karlita, David, Abi, Andrés, Manu y Vero, por los momentos compartidos dentro y fuera de la oficina. Los admiro y los quiero.

A Cris, por creer en mis sueños, por querer soñar conmigo, y por siempre estar ahí.

## DEDICATORIA

A la persona que más admiro y amo,  
mi tía.

## CONTENIDO

DECLARACIÓN .....	II
CERTIFICACIÓN .....	III
AGRADECIMIENTOS .....	IV
DEDICATORIA.....	V
CONTENIDO.....	VI
ÍNDICE DE TABLAS .....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XI
ÍNDICE DE ANEXOS .....	XV
SIMBOLOGÍA Y SIGLAS.....	XVIII
RESUMEN .....	XX
ABSTRACT .....	XXI
PRESENTACIÓN.....	XXII
CAPÍTULO I .....	1
INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 ANTECEDENTES .....	1
1.2 OBJETIVOS .....	3
1.2.1 Objetivo general.....	3
1.2.2 Objetivos específicos .....	4
1.3 ALCANCE .....	4
1.4 HIPÓTESIS .....	5
1.5 JUSTIFICACIÓN .....	5
CAPÍTULO II .....	8
MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE .....	8
2.1 MARCO TEÓRICO.....	8
2.1.1 El cultivo de maíz a nivel mundial .....	8
2.1.2 El cultivo de maíz en Ecuador.....	12
2.1.3 Agronomía del cultivo.....	18
2.1.4 El clima .....	23

2.1.5 Herramientas.....	33
2.2 ESTADO DEL ARTE .....	39
2.2.1 Revisión bibliográfica .....	39
2.2.2 Diagnóstico y hallazgos .....	43
CAPÍTULO III .....	45
METODOLOGÍA.....	45
3.1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN.....	46
3.1.1 Datos agrícolas .....	46
3.1.2 Datos climáticos .....	48
3.2 PROCESAMIENTO DE DATOS.....	48
3.2.1 Elaboración de la base de datos agrícolas .....	48
3.2.2 Elaboración de la base de datos climática .....	50
3.3 DETERMINACIÓN DE CORRELACIONES .....	56
3.4 CONSTRUCCIÓN DE LOS MODELOS DE REGRESIÓN PARA EL RENDIMIENTO EN FUNCIÓN DE LAS VARIABLES CLIMÁTICAS .....	57
CAPÍTULO IV .....	58
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	58
4.1 SITUACIÓN DE LOS INDICADORES AGRÍCOLAS DEL CULTIVO DE MAÍZ, PERIODO 2002-2015 .....	58
4.1.1 Caracterización de la producción y el rendimiento del cultivo de maíz suave.....	58
4.1.2 Caracterización de la producción y el rendimiento del cultivo de maíz duro .....	60
4.1.3 Análisis del rango productivo para el cultivo de maíz suave .....	63
4.1.4 Análisis del rango productivo para el cultivo de maíz duro .....	67
4.1.5 Comparación de los rendimientos.....	71
4.2 ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LAS VARIABLES CLIMÁTICAS SOBRE EL RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE MAÍZ .....	72
4.2.1 Precipitación.....	72
4.2.2 Temperatura máxima .....	79
4.2.3 Temperatura mínima.....	85

4.2.4 Anomalías de la temperatura superficial del mar .....	91
4.2.5 Evaluación general de la relación entre variables climáticas locales y el rendimiento del cultivo de maíz .....	94
4.3 MODELOS DE REGRESIÓN MÚLTIPLE DEL RENDIMIENTO EN FUNCIÓN DE LAS VARIABLES CLIMÁTICAS .....	96
4.3.1 Modelos de regresión para el rendimiento del cultivo de maíz suave.....	96
4.3.2 Modelos de regresión para el rendimiento del cultivo de maíz duro .....	102
4.3.3 Comparación del desempeño de modelos de rendimiento del cultivo de maíz .....	108
CAPÍTULO V .....	110
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	110
5.1 CONCLUSIONES.....	110
5.2 RECOMENDACIONES .....	111
BIBLIOGRAFÍA .....	114
ANEXOS .....	121

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: CARACTERÍSTICAS DE LOS TIPOS DE AGRICULTURA FAMILIAR.....	14
TABLA 2: DESCRIPCIÓN DE LAS FASES DEL CICLO DE CULTIVO DEL MAÍZ.....	21
TABLA 3: CARACTERÍSTICAS AGROECOLÓGICAS DEL MAÍZ.....	22
TABLA 4: HALLAZGOS SOBRE VARIABILIDAD CLIMÁTICA EN ECUADOR, 1960-2010 .....	30
TABLA 5: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....	39
TABLA 6: CARACTERÍSTICAS DE LA DATA AGRÍCOLA DEL MAÍZ EN ECUADOR .....	47
TABLA 7: ARGUMENTOS Y VALORES UTILIZADOS EN CLIMATOL .....	52
TABLA 8: PRODUCCIÓN, RENDIMIENTO Y RANGO DE PRODUCTIVIDAD DEL MAÍZ SUAVE CULTIVO SOLO.....	64
TABLA 9: PRODUCCIÓN, RENDIMIENTO Y RANGO DE PRODUCTIVIDAD DEL MAÍZ SUAVE CULTIVO ASOCIADO.....	65
TABLA 10: PRODUCCIÓN, RENDIMIENTO Y RANGO DE PRODUCTIVIDAD DEL MAÍZ DURO CULTIVO SOLO .....	67
TABLA 11: PRODUCCIÓN, RENDIMIENTO Y RANGO DE PRODUCTIVIDAD DEL MAÍZ DURO CULTIVO ASOCIADO .....	68
TABLA 12: MODELOS DE RENDIMIENTO DEL MAÍZ SUAVE CULTIVO SOLO.....	97
TABLA 13: MODELOS DE RENDIMIENTO DEL MAÍZ SUAVE CULTIVO ASOCIADO.....	99
TABLA 14: MODELOS DE RENDIMIENTO DEL MAÍZ DURO CULTIVO SOLO.....	102
TABLA 15: MODELOS DEL RENDIMIENTO DEL MAÍZ DURO CULTIVO ASOCIADO .....	106

TABLA 16: COMPARACIÓN DE LOS COEFICIENTES DE DETERMINACIÓN DE LOS MODELOS DE REGRESIÓN PARA LOS DIFERENTES TIPOS DE MAÍZ .....	109
--	-----

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Comportamiento histórico de la superficie cosechada de los principales cereales a nivel mundial.....	9
Figura 2. Comportamiento histórico de la producción de los principales cereales a nivel mundial.....	10
Figura 3. Comportamiento histórico del rendimiento de los principales cereales a nivel mundial.....	10
Figura 4. Zonas productoras de maíz del mundo y sus rendimientos. Año 2010.....	11
Figura 5. Zonas de producción del cultivo de maíz en Ecuador. Año 2014.....	13
Figura 6. Distribución de tamaños de unidades de producción agropecuaria (UPA), para maíz duro seco y maíz suave choclo.....	15
Figura 7. Comportamiento histórico de la producción y el rendimiento del cultivo de maíz suave choclo en Ecuador.....	16
Figura 8. Comportamiento histórico de la superficie sembrada y cosechada del cultivo de maíz suave choclo en Ecuador.....	16
Figura 9. Comportamiento histórico de la producción y rendimiento del cultivo de maíz duro seco en Ecuador.....	17
Figura 10. Comportamiento histórico de la superficie sembrada y cosechada del cultivo del maíz duro seco en Ecuador.....	18
Figura 11. Características morfológicas del maíz.....	19
Figura 12. Ciclo de cultivo y duración de las etapas para el maíz suave.....	20
Figura 13. Ejemplo hipotético de la influencia de los diferentes factores sobre el rendimiento.....	23
Figura 14. Fases de ENSO A) El niño, B) La niña.....	24
Figura 15. Efectos comunes de El Niño (diciembre a febrero).....	25
Figura 16. Regiones de ENSO.....	26
Figura 17. Precipitación anual en Ecuador.....	27
Figura 18. Temperatura media anual en Ecuador.....	28

Figura 19. Variación de A) Precipitación anual, B) Temperatura anual C) Temperatura diaria, en Ecuador continental.....	29
Figura 20. Porcentaje de superficie perdida de cultivo de maíz duro seco por diferentes causas, periodo 2002-2015.....	32
Figura 21. Porcentaje de superficie perdida de cultivo de maíz suave choclo por diferentes causas, periodo 2002-2015.....	32
Figura 22. Diagrama de funcionamiento del paquete Climatol .....	34
Figura 23. Metodología utilizada en la investigación .....	45
Figura 24. Estaciones meteorológicas seleccionadas para la variable de precipitación .....	53
Figura 25. Estaciones meteorológicas seleccionadas para las variables de temperatura máxima y temperatura mínima .....	53
Figura 26. Gráfica de cajas para la producción del maíz suave, .....	59
Figura 27. Gráfica de cajas para el rendimiento del maíz suave, periodo 2002-2015 A) Cultivo solo y B) Cultivo asociado.....	60
Figura 28. Gráfica de cajas para la producción de maíz duro, .....	62
Figura 29. Gráfica de cajas para el rendimiento del cultivo de maíz duro, periodo 2002-2015 .....	63
Figura 30. Producción, rendimiento y rango de productividad del maíz suave        A) Cultivo solo y B) Cultivo asociado .....	66
Figura 31. Producción, rendimiento y rango de productividad del maíz duro cultivo solo .....	69
Figura 32. Producción, rendimiento y rango de productividad del maíz duro cultivo asociado.....	70
Figura 33. Comparación de rendimientos por tipos de maíz y tipo de cultivo, periodo 2002-2015 .....	71
Figura 34. Correlaciones significativas entre la precipitación mensual y el rendimiento del cultivo de maíz suave .....	73
Figura 35. Correlaciones significativas entre la precipitación mensual y el rendimiento del cultivo de maíz duro .....	74

Figura 36. Precipitación mensual promedio (2002-2015) en las zonas productoras del cultivo de maíz suave en las provincias de A) Imbabura, B) Pichincha, C) Cotopaxi, D) Bolívar, E) Tungurahua, F) Cañar.....	76
Figura 37. Precipitación mensual promedio (2002-2015) en las zonas productoras del cultivo de maíz duro en las provincias de A) Carchi, B) Imbabura, C) Cotopaxi, D) Bolívar, E) Chimborazo, F) Loja y G) Manabí .....	78
Figura 38. Correlaciones significativas entre la temperatura máxima mensual y el rendimiento del cultivo de maíz suave .....	80
Figura 39. Correlaciones significativas entre la temperatura máxima mensual y el rendimiento del cultivo de maíz duro .....	81
Figura 40. Temperatura máxima mensual promedio (2002-2015) en las zonas productoras del cultivo de maíz suave en las provincias de A) Carchi, B) Imbabura, C) Cotopaxi, D) Tungurahua, E) Bolívar, F) Cañar, G) Azuay y H) Loja .....	83
Figura 41. Temperatura máxima mensual promedio (2002-2015) en las zonas productoras del cultivo de maíz duro en las provincias de A) Carchi, B) Imbabura, C) Cotopaxi, D) Chimborazo, E) Bolívar, F) Azuay, G) Esmeraldas, H) Los Ríos, I) El Oro .....	84
Figura 42. Correlaciones significativas entre la temperatura mínima mensual y el rendimiento del cultivo de maíz suave .....	86
Figura 43. Correlaciones significativas entre la temperatura mínima mensual y el rendimiento del cultivo de maíz duro .....	87
Figura 44. Temperatura mínima mensual promedio (2002-2015) en las zonas productoras del cultivo de maíz suave en las provincias de A) Carchi, B) Imbabura, C) Cotopaxi, D) Chimborazo, E) Azuay y F) Loja .....	89
Figura 45. Temperatura mínima mensual promedio (2002-2015) en las zonas productoras del cultivo de maíz duro en las provincias de A) Carchi, B) Imbabura, C) Pichincha, D) Cotopaxi, E) Chimborazo F) Bolívar G) Azuay, H) Esmeraldas, I) Guayas, J) Manabí .....	90
Figura 46. Correlaciones significativas entre las anomalías de la temperatura del mar y el rendimiento del cultivo de maíz suave .....	92

Figura 47. Correlaciones significativas entre las anomalías de la temperatura del mar y el rendimiento del cultivo de maíz duro .....	93
Figura 48. Correlaciones entre las variables climáticas y el rendimiento del cultivo de maíz suave .....	95
Figura 49. Correlaciones entre las variables climáticas y el rendimiento del cultivo de maíz duro A) Cultivo solo y B) Cultivo asociado .....	95
Figura 50. Coeficientes de las variables explicativas en los modelos de maíz suave cultivo solo .....	97
Figura 51. Rendimientos observados vs Rendimientos estimados por los modelos para el maíz suave cultivo solo para las provincias de A) Bolívar, B) Carchi, C) Chimborazo, D) Imbabura, E) Loja y F) Tungurahua .....	98
Figura 52. Coeficientes de las variables explicativas en los modelos de maíz suave cultivo asociado.....	100
Figura 53. Rendimientos observados vs Rendimientos estimados por los modelos para el maíz suave cultivo asociado para A) Azuay, B) Bolívar, C) Cañar, D) Cotopaxi, E) Imbabura, F) Loja, G) Pichincha y H) Tungurahua ...	101
Figura 54. Coeficientes de las variables explicativas en los modelos de maíz duro cultivo solo.....	103
Figura 55. Rendimientos observados vs Rendimientos estimados por los modelos para el maíz duro cultivo solo para A) Azuay, B) Bolívar, C) Carchi, D) Chimborazo, E) Cotopaxi, F) Esmeraldas, G) Imbabura .....	104
Figura 56. Rendimientos observados vs Rendimientos estimados por los modelos para el maíz duro cultivo solo para A) El Oro, B) Guayas, C) Manabí y D) Loja .....	105
Figura 57. Coeficientes de los modelos de maíz duro cultivo asociado .....	106
Figura 58. Rendimientos observados vs Rendimientos estimados por los modelos para el maíz duro cultivo asociado para A) Bolívar, B) Chimborazo, C) Cotopaxi, D) Imbabura, E) Los Ríos y F) Pichincha .....	107

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. SERIES DE RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE MAÍZ SUAVE, PERIODO 2002-2015. ....	121
ANEXO 2. SERIES DE RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE MAÍZ DURO, PERIODO 2002-2015 .....	123
ANEXO 3. RESULTADOS DE LA PRUEBA DE NORMALIDAD SHAPIRO WILKS, PARA LAS SERIES DE RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE MAÍZ SUAVE, CULTIVO SOLO. ....	125
ANEXO 4. RESULTADOS DE LA PRUEBA DE NORMALIDAD SHAPIRO WILKS, PARA LAS SERIES DE RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE MAÍZ SUAVE, CULTIVO ASOCIADO. ....	125
ANEXO 5. RESULTADOS DE LA PRUEBA DE NORMALIDAD SHAPIRO WILKS, PARA LAS SERIES DE RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE MAÍZ DURO, CULTIVO SOLO.....	125
ANEXO 6. RESULTADOS DE LA PRUEBA DE NORMALIDAD SHAPIRO WILKS, PARA LAS SERIES DE RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE MAÍZ DURO, CULTIVO ASOCIADO. ....	126
ANEXO 7. RESULTADOS DE LA PRUEBA DE SIGNIFICANCIA DE LA TENDENCIA DE LAS SERIES DE RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE MAÍZ SUAVE, CULTIVO SOLO.....	126
ANEXO 8. RESULTADOS DE LA PRUEBA DE SIGNIFICANCIA DE LA TENDENCIA DE LAS SERIES DE RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE MAÍZ SUAVE, CULTIVO ASOCIADO. ....	127
ANEXO 9. RESULTADOS DE LA PRUEBA DE SIGNIFICANCIA DE LA TENDENCIA DE LAS SERIES DE RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE MAÍZ DURO, CULTIVO SOLO. ....	127
ANEXO 10. RESULTADOS DE LA PRUEBA DE SIGNIFICANCIA DE LA TENDENCIA DE LAS SERIES DE RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE MAÍZ DURO, CULTIVO ASOCIADO. ....	128
ANEXO 11. ESTACIONES METEOROLÓGICAS SELECCIONADAS PARA LA VARIABLE DE PRECIPITACIÓN .....	128

ANEXO 12. ESTACIONES METEOROLÓGICAS SELECCIONADAS PARA LA VARIABLE DE TEMPERATURA MÁXIMA .....	132
ANEXO 13. ESTACIONES METEOROLÓGICAS SELECCIONADAS PARA LA VARIABLE DE TEMPERATURA MÍNIMA.....	133
ANEXO 14. VALORES DE POTENCIA Y NÚMERO DE OBSERVACIONES UTILIZADOS PARA LA INTERPOLACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN, CON SU RESPECTIVO ERROR.....	134
ANEXO 15. CORRELACIONES ENTRE EL RENDIMIENTO DEL MAÍZ SUAVE CULTIVO SOLO Y LA PRECIPITACIÓN MENSUAL. ....	137
ANEXO 16. CORRELACIONES ENTRE EL RENDIMIENTO DEL MAÍZ SUAVE CULTIVO ASOCIADO Y LA PRECIPITACIÓN MENSUAL. ....	137
ANEXO 17. CORRELACIONES ENTRE EL RENDIMIENTO DEL MAÍZ DURO CULTIVO SOLO Y LA PRECIPITACIÓN MENSUAL.....	138
ANEXO 18. CORRELACIONES ENTRE EL RENDIMIENTO DEL MAÍZ DURO CULTIVO ASOCIADO Y LA PRECIPITACIÓN MENSUAL.....	138
ANEXO 19. CORRELACIONES ENTRE EL RENDIMIENTO DEL MAÍZ SUAVE CULTIVO SOLO Y LA TEMPERATURA MÁXIMA .....	139
ANEXO 20. CORRELACIONES ENTRE EL RENDIMIENTO DEL MAÍZ SUAVE CULTIVO ASOCIADO Y LA TEMPERATURA MÁXIMA .....	139
ANEXO 21. CORRELACIONES ENTRE EL RENDIMIENTO DEL MAÍZ DURO CULTIVO SOLO Y LA TEMPERATURA MÁXIMA.....	140
ANEXO 22. CORRELACIONES ENTRE EL RENDIMIENTO DEL MAÍZ DURO CULTIVO ASOCIADO Y LA TEMPERATURA MÁXIMA .....	140
ANEXO 23. CORRELACIONES ENTRE EL RENDIMIENTO DEL MAÍZ SUAVE CULTIVO SOLO Y LA TEMPERATURA MÍNIMA .....	141
ANEXO 24. CORRELACIONES ENTRE EL RENDIMIENTO DEL MAÍZ SUAVE CULTIVO ASOCIADO Y LA TEMPERATURA MÍNIMA .....	141
ANEXO 25. CORRELACIONES ENTRE EL RENDIMIENTO DEL MAÍZ DURO CULTIVO SOLO Y LA TEMPERATURA MÍNIMA.....	142
ANEXO 26. CORRELACIONES ENTRE EL RENDIMIENTO DEL MAÍZ DURO CULTIVO ASOCIADO Y LA TEMPERATURA MÍNIMA .....	142

ANEXO 27. CORRELACIONES ENTRE EL RENDIMIENTO DEL MAÍZ SUAVE CULTIVO SOLO Y EL PROMEDIO DE LAS ANOMALÍAS DE LA TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE DEL MAR.....	143
ANEXO 28. CORRELACIONES ENTRE EL RENDIMIENTO DEL MAÍZ SUAVE CULTIVO ASOCIADO Y EL PROMEDIO DE LAS ANOMALÍAS DE LA TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE DEL MAR. ....	143
ANEXO 29. CORRELACIONES ENTRE EL RENDIMIENTO DEL MAÍZ DURO CULTIVO SOLO Y EL PROMEDIO DE LAS ANOMALÍAS DE LA TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE DEL MAR.....	144
ANEXO 30. CORRELACIONES ENTRE EL RENDIMIENTO DEL MAÍZ DURO CULTIVO ASOCIADO Y EL PROMEDIO DE LAS ANOMALÍAS DE LA TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE DEL MAR. ....	145

## SIMBOLOGÍA Y SIGLAS

ABR	Abril
AGO	Agosto
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
CIMMYT	Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo
CRAN	Comprehensive R Archive Network
DEF	Diciembre, enero y febrero
DIC	Diciembre
dz.max	Umbral máximo para datos anómalos en Climatol
ENE	Enero
ENSO	El Niño Southern Oscillation
ESPA	Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria
ESPAC	Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua
FAO	Food and Agriculture Organization
FEB	Febrero
IDW	Inverse Distance Weighting
IICA	Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura
INAMHI	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología
INEC	Instituto Nacional de Estadística y Censos
INIAP	Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias
JJA	Junio, julio, y agosto
JUN	Junio
MAE	Ministerio del Ambiente del Ecuador
MAG	Ministerio de Agricultura y Ganadería
MAGAP	Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca
MAR	Marzo
MAM	Marzo, abril y mayo
MAY	Mayo
NA	Dato ausente
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
NOV	Noviembre

OCT	Octubre
ONI	Oceanic Niño Index
ONU	Organización de las Naciones Unidas
P <sub>i</sub>	Precipitación mensual para el mes i
R <sup>2</sup>	Coefficiente de determinación
R <sup>2</sup> <sub>ajustado</sub>	Coefficiente de determinación ajustado
RMSE	Root-mean-square error
SENAMHI	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú
SEP	Septiembre
shnt1	Umbral para la prueba de homogeneidad por ventanas en Climatol
shnt2	Umbral para la prueba de homogeneidad global en Climatol
SM	Sin modelo
SNHT	Standard Normal Homogeneity Test
SON	Septiembre, octubre y noviembre
SSTA	Sea Surface Temperatura Anomalies
Std	Tipo de normalización en Climatol
T <sub>maxi</sub>	Temperatura máxima mensual para el mes i
T <sub>mini</sub>	Temperatura mínima mensual para el mes i
UPA	Unidad de Producción Agropecuaria
y <sub>1</sub>	Rendimiento del cultivo de maíz
WMO	World Meteorological Organization

## RESUMEN

Ecuador necesita mejorar el rendimiento del cultivo de maíz para garantizar la seguridad alimentaria de la población, y la fuente de ingresos económicos principalmente de pequeños agricultores. Sin embargo, esto es un desafío, con un clima cambiante y con escasos conocimientos sobre la influencia de los patrones climáticos sobre el rendimiento del cultivo. En este contexto, se creó una base de datos anuales de rendimiento del cultivo de maíz y datos mensuales de precipitación, temperatura máxima, temperatura mínima, y las anomalías de la temperatura superficial del mar, durante el periodo 2001-2015, para evaluar la relación entre variables mediante el coeficiente de correlación de Spearman y modelos de regresión lineal.

Los resultados indican que la precipitación tiene una relación inversa con los rendimientos de cultivo de maíz de tipo asociado. Mientras que, la temperatura máxima y mínima, presentan diferentes relaciones con el rendimiento. Se obtuvo también que, el clima explica en promedio el 48,49% de la variabilidad del rendimiento del maíz suave solo, y el 46,18% de la variabilidad del rendimiento del maíz duro solo. Por otro lado, las variables climáticas analizadas explicarían el 61,56% de la variabilidad del rendimiento del maíz duro asociado, y únicamente el 32,68% de la variabilidad del rendimiento del maíz suave asociado, sugiriendo que los rendimientos de este último podrían ser mejor explicados con variables no climáticas. Finalmente, los rendimientos del cultivo más vulnerables frente al clima serían en las provincias de Carchi, Imbabura, Cotopaxi, y Bolívar, para el maíz suave solo, el maíz suave asociado, el maíz duro solo y el maíz duro asociado respectivamente.

**Palabras clave:** correlaciones, rendimiento de maíz, modelos de regresión, variabilidad climática

## ABSTRACT

Ecuador requires to improve maize yield, in order to assure food security and the incomes mainly of small farmers. However, it is a challenge with a changing climate and with a lack of knowledge about the relationship between maize yield and climatic patterns. In this context, a data base was built with yearly maize yields, and monthly precipitation, maximum temperature, minimum temperature and anomalies of the sea surface temperature, during 2001-2015. The aim was to access the relationship among variables, using Spearman correlation coefficient and linear regression models.

Results show that precipitation has an inverse relationship with associated maize yields. While, maximum and minimum temperature have different relationships with maize yields. Additionally, it was found that climatic variables explain maize yield variability in 48,49% for soft alone maize and in 46,18% for hard alone maize. On the other hand, climate explains 61,56% of yield variability for hard associated maize but only 32,68% for soft alone maize. Therefore, soft associated maize yield variability could be better explained by other non-climatic factors. Finally, the most vulnerable maize yields, against climate, can be found in the provinces Carchi, Imbabura, Cotopaxi and Bolívar for soft alone maize, soft associated maize, hard alone maize and hard associated maize, respectively.

**Keywords:** climate variability, correlations, maize yield, regression models

## PRESENTACIÓN

El siguiente estudio identifica la influencia del clima sobre los rendimientos del cultivo de maíz en diversas provincias de Ecuador. Para ello recopila información referente a la producción y a la superficie cosechada del cultivo de maíz suave choclo y maíz duro seco, y diferenciándolos por cultivo solo y cultivo asociado. Así como también recopila información climática y geográfica, para estimar las variables de interés en la zona de cultivo. El trabajo consta de 5 capítulos, descritos a continuación.

El Capítulo 1 presenta una introducción al estudio, brindando datos relevantes sobre el rendimiento del cultivo de maíz en Ecuador, y el desafío que representa la influencia climática sobre estos. Además, se indican los objetivos, hipótesis, justificación y alcance del estudio.

El Capítulo 2 presenta el marco teórico. En el cual se ha considerado importante brindar un enfoque global sobre la situación del cultivo y contrastarlo con la situación nacional. También se encontrará en esta sección breves conceptos sobre la agronomía del cultivo, el clima, y sobre las herramientas utilizadas en secciones posteriores. Finalmente, se presenta el estado del arte para comprender los avances, y necesidades investigativas respecto al impacto del clima sobre los rendimientos de los cultivos.

El Capítulo 3 describe los datos recopilados, los métodos utilizados y las herramientas computacionales, con las cuales se logra alcanzar los objetivos planteados.

El Capítulo 4 muestra los resultados del estudio. Es decir, la situación de los indicadores agrícolas del maíz, el análisis de la influencia de las variables climáticas sobre el rendimiento, y los modelos de regresión del rendimiento construidos en función de las variables climáticas.

El Capítulo 5 presenta las conclusiones del estudio y las recomendaciones para futuras investigaciones.

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 ANTECEDENTES

A nivel mundial el maíz es uno de los cultivos más importantes debido a que se utiliza como alimento básico en algunos países en desarrollo y como materia prima para actividades industriales en países desarrollados; además para cubrir la demanda creciente, actualmente el maíz es el cereal de mayor producción, con más de 1000 millones de toneladas, y para lo cual se destina una extensa superficie de 197 millones de hectáreas, únicamente superada por la superficie destinada para cultivar trigo, que es de 218 millones de hectáreas (Brunini & Stingter, 2010; FAO, 2017).

En Ecuador de la misma forma, el maíz es uno de los principales productos agrícolas debido a la extensa superficie destinada para su producción y porque garantiza la seguridad alimentaria en zonas rurales, abastece el mercado interno, se usa como forraje, promueve el encadenamiento productivo con el sector industrial, representa un elemento de gran valor cultural y permite conservar la agrobiodiversidad del país (Basantes, 2015; Boada & Espinoza, 2016; Yáñez, Zambrano, Caicedo, & Heredia, 2013). Sin embargo, estos aspectos que representan la importancia social, económica y ambiental del maíz en Ecuador, se ven amenazados porque el cultivo presenta una baja productividad agrícola (Boada & Espinoza, 2016).

La productividad se analiza mediante el rendimiento, un indicador agrícola que expresa la cantidad de productos cosechados por unidad de superficie cosechada, y depende de diversos factores socioeconómicos como las prácticas de manejo del cultivo, la tecnología y las políticas orientadas al sector agrícola; así como también de factores ambientales como las características del suelo y el clima (Basantes, 2015; Boada & Espinoza, 2016).

El clima es un factor fundamental debido a que los cultivos requieren condiciones climáticas óptimas para desarrollarse adecuadamente, y es así que la variabilidad climática al generar situaciones de estrés, puede perjudicar los ciclos de crecimiento, dañar los cultivos, favorecer la aparición de plagas y enfermedades, y modificar la aptitud agrícola de las tierras, afectando de esta manera a la productividad y dando como resultado bajos rendimientos (Brunini & Stingter, 2010).

Varios estudios indican cuantitativamente la influencia del clima sobre la productividad. Por ejemplo, en el estudio realizado por Poudel & Shaw (2016), se determinó que en Lamjung, un distrito de Nepal, la variabilidad del clima explica en 34,7% la variabilidad del rendimiento del cultivo de maíz. En otro estudio realizado por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (2013), para la subcuenca del río Shullcas, mediante una regresión múltiple que consideraba variables de temperatura y precipitación, se estimó que la variabilidad del rendimiento del maíz se atribuye en 56,1% a la variabilidad climática en esa zona. También Capa, Rodríguez, & Ruiz (2014), estudiaron la relación entre las anomalías del rendimiento del maíz del noreste de la Península Ibérica y las anomalías de la temperatura superficial del mar del Pacífico ecuatorial, identificando que se tienen rendimientos más altos (bajos) en los años de La Niña (El Niño), y adicionalmente se halló entre las variables una correlación lineal significativa de -0,62, con la que se concluyó que las anomalías de la temperatura superficial del mar podrían ser un buen indicador regional para predecir los rendimientos en relación a la variabilidad climática.

Según los datos estadísticos de la FAO (2017), en el año 2016 Chile alcanzó el mayor rendimiento de maíz de la región, con 11,54 tm/ha en tan solo 101.740 hectáreas de superficie cosechada, mientras que Ecuador triplicando aproximadamente dicha superficie, obtuvo un rendimiento de 3,17 tm/ha, ubicándose como en años pasados, entre uno de los países con el rendimiento de maíz más bajo de la región. Esta situación podría resultar desfavorable, porque de acuerdo a Brunini & Stingter (2010), los impactos negativos de la variabilidad

climática son mayores para países con bajos rendimientos debido a la falta de información y recursos para manejar esta situación.

Rueda-Ayala et al., (2015), señalan que los temas en los que se han enfocado los estudios sobre el maíz en el país han sido el mejoramiento genético y las prácticas de manejo del cultivo, mientras que los esfuerzos para generar modelos de estimación del rendimiento han sido escasos. Además, aseguran que se requiere comprender la relación entre las condiciones climáticas y el rendimiento, para desarrollar herramientas que ayuden a mejorar la productividad de este cultivo.

Mejorar la productividad agrícola es un desafío, pues se necesita garantizar la seguridad alimentaria y la fuente de ingresos económicos principalmente de pequeños agricultores, haciendo uso de las tierras según sus aptitudes, sin desgastarlas y sin extender la frontera agrícola, y a su vez adaptando la actividad agrícola al clima cambiante y a la población creciente (FAO, 2016c).

Los impactos negativos del clima sobre el rendimiento en otras regiones del mundo, y la escasa investigación acerca de esta temática en nuestro país, vuelve apremiante la necesidad de estudiar la relación del clima y el rendimiento del maíz. Este estudio plantea determinar, mediante herramientas estadísticas, la relación entre el rendimiento del cultivo y variables climáticas, para identificar zonas productoras de maíz sensibles a las variaciones del clima y que así se puedan proponer medidas de adaptación específicas para cada sitio (Balaghi et al., 2013).

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 Objetivo general**

Evaluar el impacto de la variabilidad climática sobre el rendimiento del cultivo de maíz, a través de un análisis estadístico, para establecer las zonas geográficas de mayor sensibilidad del cultivo ante las variaciones del clima.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Constituir una base de datos del rendimiento del cultivo de maíz, e indicadores climáticos locales y regionales.
- Determinar la relación entre el rendimiento del cultivo de maíz y la variación interanual de las variables e indicadores climáticos, mediante el uso de herramientas estadísticas como por ejemplo la correlación.
- Analizar la influencia de las variables climáticas sobre el rendimiento del cultivo de maíz, mediante modelos de regresión, en aquellas zonas del país donde se obtengan correlaciones significativas entre las variables estudiadas.

### 1.3 ALCANCE

Los elementos climáticos tienen implicaciones directas en la productividad de los cultivos, por lo tanto para evaluar la sensibilidad de la productividad agrícola frente a la variabilidad climática, se utilizó análisis de correlación y modelos de regresión entre los rendimientos y las variables e indicadores climáticos (Balaghi et al., 2013; Poudel & Shaw, 2016).

En este estudio las variables climáticas consideradas fueron la temperatura máxima y mínima y la precipitación, todas a nivel mensual. Esta última de suma importancia debido a que, al ser un cultivo de secano, el maíz para su desarrollo y rendimiento depende de las lluvias (Basantes, 2015; SENAMHI, 2013). Finalmente, se utilizó también como indicador climático regional, las anomalías de la temperatura superficial del mar, debido a que el océano genera significativos cambios dentro del sistema climático, y ha sido considerado como un indicador útil relacionado al rendimiento, como ya se mencionó anteriormente (Capa et al., 2014; Travasso, Magrin, & Rodríguez, 2003).

Muchos estudios son a escala global, regional o nacional. Sin embargo, se requieren estudios enfocados en escalas más finas, y para esto la calidad y disponibilidad de los datos es crucial (Balaghi et al., 2013).

En este estudio se utilizó: los datos de las anomalías de la temperatura superficial del mar, proporcionados por la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de Estados Unidos (NOAA), los datos históricos disponibles de producción y superficie cosechada del cultivo de maíz duro seco y maíz suave choclo a nivel provincial de las regiones costa y sierra, que son presentados en las encuestas realizadas por El Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), y permitieron el cálculo del rendimiento; y los datos climáticos mensuales disponibles a través del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI).

## **1.4 HIPÓTESIS**

La variabilidad climática influye sobre el rendimiento del cultivo de maíz en Ecuador.

## **1.5 JUSTIFICACIÓN**

En Ecuador, el maíz ha sido históricamente y continúa siendo uno de los principales productos agrícolas, pues genera ingresos para pequeños agricultores, promueve la agroindustria, presenta un gran valor cultural, pero sobre todo contribuye a la seguridad alimentaria de la población (Basantes, 2015; Boada & Espinoza, 2016). Para una población creciente, se requiere así mismo un incremento en la producción de alimentos (FAO, 2016b). Este incremento de la producción deberá considerar un uso adecuado del suelo para sobrellevar la presión y degradación que sufre este recurso; y de esta manera no solo incrementar la producción sino también los rendimientos agrícolas (FAO, 2016c).

Zambrano et al. (2015), en su investigación por ejemplo, estiman que para satisfacer las necesidades de la población en el 2050, se requeriría incrementar en un 67% el rendimiento promedio nacional actual del cultivo de maíz duro seco en Ecuador.

Sin embargo, esta mejora de la productividad podría ser insuficiente para satisfacer la demanda futura, considerando las incertidumbres que generan los conflictos del

agua, la escasa posibilidad de expandir las tierras de cultivo y los posibles efectos del cambio climático (Zambrano et al., 2015).

Es importante recordar que la agricultura no solo es una actividad que puede verse perjudicada por las condiciones del clima, sino que también toma parte del cambio climático, siendo una de las actividades humanas que contribuye a la emisión de gases de efecto invernadero; aportando el 21% del total mundial de emisiones y el 18,17% de las emisiones de Ecuador (FAO, 2016c; MAE, 2017).

A pesar de que Ecuador tiene una baja contribución de gases de efecto invernadero, el sector agrícola es clave tanto para las medidas de adaptación como para las de mitigación del cambio climático; y la conexión entre la seguridad alimentaria, el clima y otros aspectos socio-económicos relevantes para el desarrollo se presentan ya en instrumentos internacionales y nacionales (MAE, 2017).

Dentro de instrumentos internacionales se encuentra, por ejemplo, La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible. En la cual, en el objetivo 2 “Cero hambre”, se incluye como metas duplicar para el 2030 la productividad agrícola y los ingresos de productores a pequeña escala, promoviendo el acceso equitativo a financiamiento, insumos, y conocimientos; esto con prácticas que mejoren la calidad de los suelos degradados y a través de sistemas agrícolas sostenibles y resilientes frente al cambio climático y eventos meteorológicos extremos (ONU, 2018).

Por otro lado, como instrumento nacional, se tiene “La Política Agropecuaria Ecuatoriana 2015-2025”, la cual presenta como meta el incrementar los rendimientos agrícolas, alcanzando 6,68 tm/ha para el maíz duro seco y 3,6 tm/ha para el maíz suave choclo, esto para contribuir a la seguridad alimentaria, el desarrollo rural y la reducción de la pobreza, con un enfoque de inclusión y sostenibilidad ambiental (MAG, 2016).

Para alcanzar todas estas metas, es indispensable fomentar un “ciclo de conocimiento y acción”, en el cual las investigaciones se enfoquen en las necesidades de la sociedad, y luego en base a los resultados científicos, se genere

una planificación del sector agrícola en concordancia con el contexto socioeconómico y ambiental específico (CEPAL, IICA, & FAO, 2011).

Los rendimientos del cultivo de maíz en Ecuador se encuentran entre los más bajos de la región (Boada & Espinoza, 2016; FAO, 2017). Sin embargo, el hallar potencialidades o dificultades de la productividad es complicado por la inexistente literatura que analice el comportamiento histórico de los rendimientos del cultivo con una resolución espacial de la información a nivel subnacional. Adicionalmente, a pesar de que se conoce que el clima es uno de los factores más importantes en la productividad del maíz, se desconoce sobre la magnitud de esta relación en Ecuador, y se han dado escasos esfuerzos para generar modelos de estimación del rendimiento en función de variables climáticas (Rueda et al., 2015).

Por todo esto, se espera que los resultados de este estudio contribuyan a la recopilación de información de calidad, para ampliar el entendimiento sobre la influencia del clima sobre los rendimientos del cultivo de maíz, y que esto constituya una herramienta técnica para los tomadores de decisiones, en la formulación de políticas y la planificación informada, para que integren el riesgo climático en las actividades agrícolas y de esta manera se eviten o mitiguen los riesgos asociados a la variabilidad del clima (Balaghi et al., 2013; Poudel & Shaw, 2016).

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE**

#### **2.1 MARCO TEÓRICO**

##### **2.1.1 El cultivo de maíz a nivel mundial**

La agricultura ha sido históricamente el motor para el desarrollo de las sociedades, pues con la aclimatación de plantas, el incremento de la producción de alimento y la capacidad de almacenarlo, las poblaciones humanas crecieron, se estratificaron, adoptaron organizaciones políticas, y desarrollaron diversas tecnologías que en última instancia determinaron ventajas de unas sociedades sobre otras (Diamond, 2007).

El maíz es un maravilloso ejemplo de la aclimatación de plantas que impulsó el desarrollo de las sociedades (Diamond, 2007). Se cree que se originó de la gramínea silvestre teosinte hace unos 7000 años en Mesoamérica, y a pesar de que tuvieron que pasar miles de años para que el maíz adquiriera las características de las mazorcas que hoy se conocen, el maíz fue y continua siendo, junto a otros cereales, la base de la seguridad alimentaria mundial; proporcionando una importante fuente de carbohidratos para los seres humanos o para los cerdos, las vacas y aves que producen la carne, la leche, y los huevos que consumimos (Diamond, 2007; FAO, 2016b; Serratos, 2007).

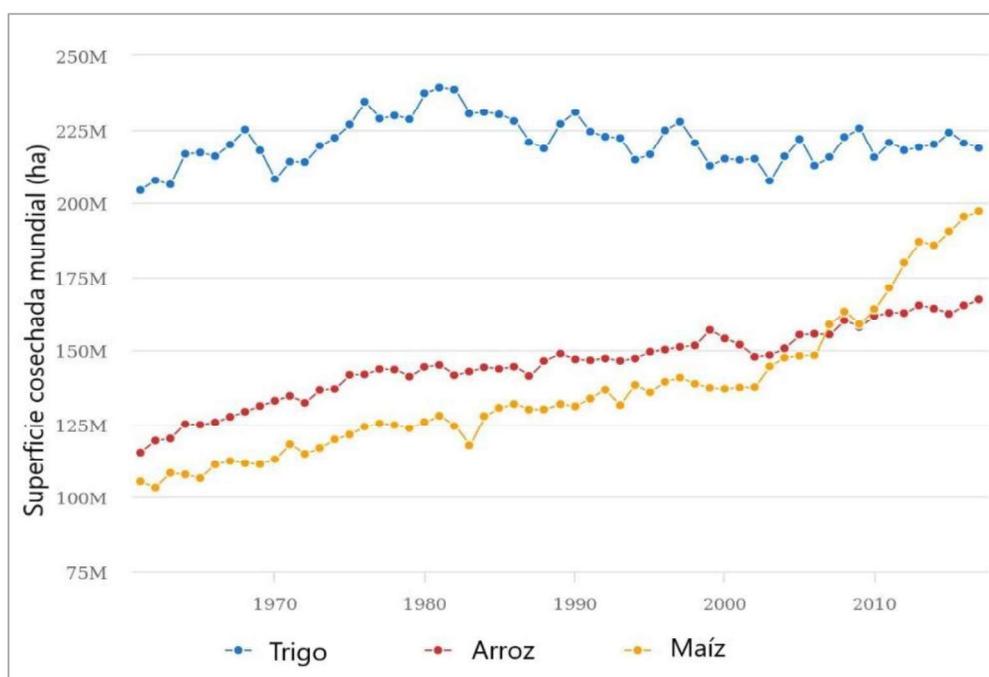
El maíz botánicamente es el cereal menos apto para sobrevivir sin el manejo del ser humano, no obstante al contar con un manejo adecuado presenta una alta adaptabilidad a diversas condiciones ambientales, y es por esto que su producción se ha extendido alrededor del mundo, dando como resultado 2500 variedades comerciales (FAO, 2016b; Filmer, 2016; Sprague & Paliwal, 1984).

En cuanto a las características agrícolas, de acuerdo a las estadísticas de la FAO (2017), la superficie cosechada de maíz a nivel mundial es menor a la del trigo, sin embargo, en el año 2007 superó a la superficie cosechada de arroz (Figura 1).

Por otro lado, la producción mundial de maíz superó en el 2001 a la producción de trigo y de arroz (Figura 2), mientras que el rendimiento promedio mundial del maíz históricamente ha sido superior a la de los otros cereales principales (Figura 3).

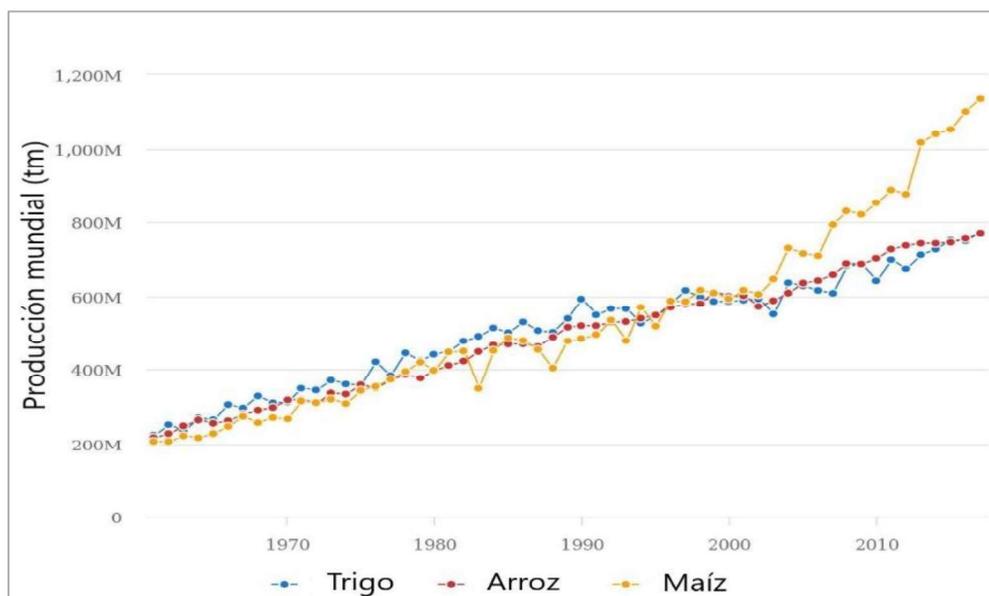
Se observa que existe una tendencia positiva para todos estos indicadores del cultivo de maíz, tendencia que deberá mantenerse únicamente para la producción y el rendimiento, para satisfacer la demanda de alimentos de una población mundial creciente y que enfrenta importantes cambios globales (Paliwal et al., 2001).

**Figura 1. Comportamiento histórico de la superficie cosechada de los principales cereales a nivel mundial**



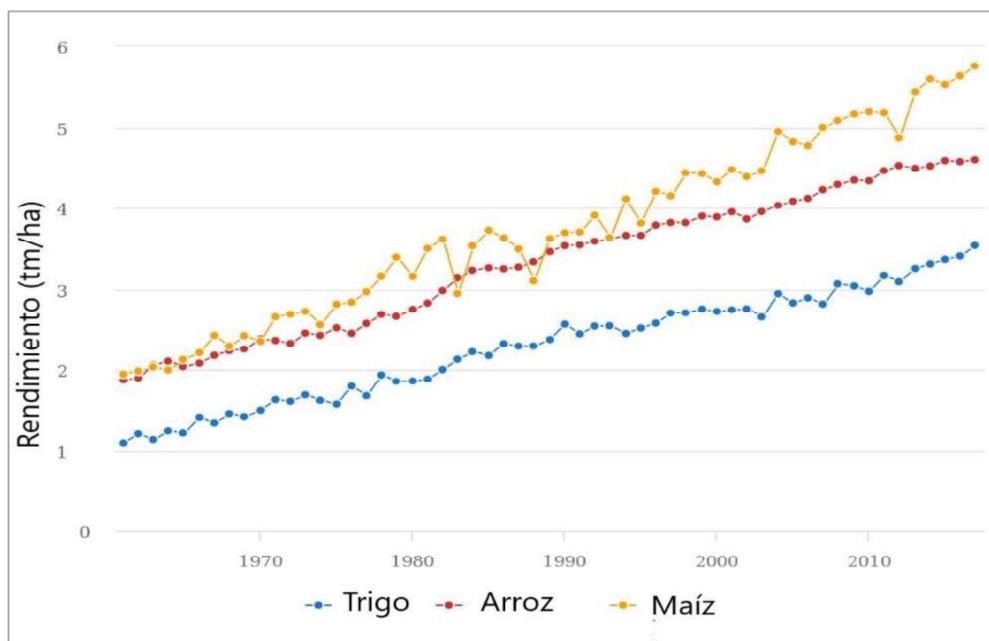
Fuente: FAO, 2017

**Figura 2. Comportamiento histórico de la producción de los principales cereales a nivel mundial**



Fuente: FAO, 2017

**Figura 3. Comportamiento histórico del rendimiento de los principales cereales a nivel mundial**

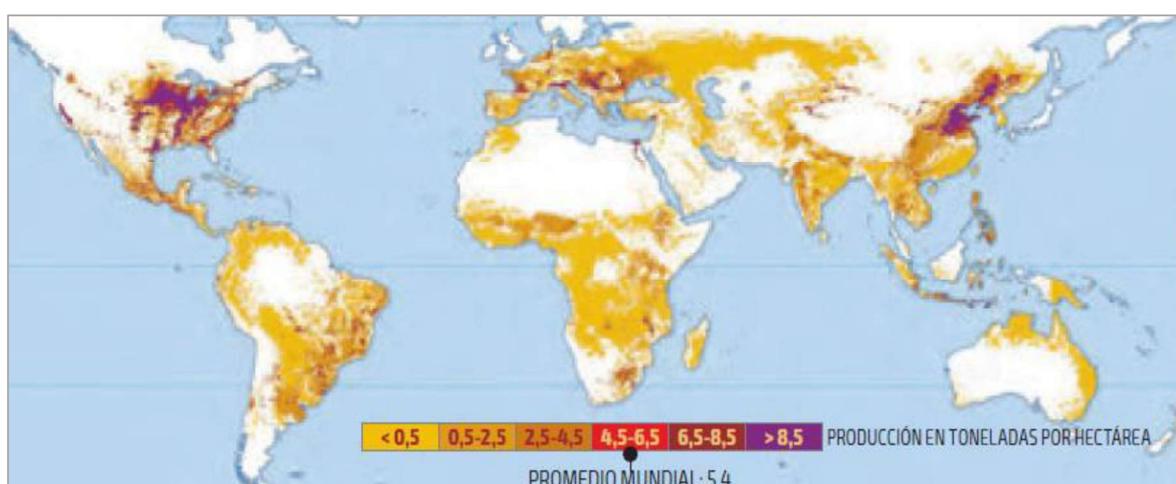


Fuente: FAO, 2017

Se estima que la población mundial pasará de 7.300 millones a 9.600 millones de personas al 2050, y la demanda mundial de maíz, trigo y arroz alcanzaría unos 3.300 millones de toneladas anuales (FAO, 2016b). El incremento de la producción en muchos países no se podrá dar por la expansión de la superficie de cultivo, sino que deberá darse en tierras agrícolas ya existentes, de las cuales un tercio se encuentran degradadas por erosión, salinización, compactación o contaminación química (FAO, 2016b; Paliwal et al., 2001).

El incremento de la producción por lo tanto deberá basarse en el aumento de la productividad, lo cual ya es un desafío para países en desarrollo de África, Asia y Latino América, en donde se destina una gran superficie al cultivo de maíz, y se obtienen bajos rendimientos (Paliwal et al., 2001; Sprague & Paliwal, 1984). Esta situación se da porque el maíz se lo produce para subsistencia, como cultivo de secano, con vulnerabilidad frente a eventos de sequía o lluvias intensas, sin manejo óptimo de plagas y enfermedades, con bajas o inadecuadas prácticas de fertilización, sin semillas certificadas y en general con una planta de maíz menos eficiente; mientras que los niveles más altos de productividad se presentan en algunas áreas templadas donde se ha implementado tecnología, irrigación e insumos (Figura 4) (Sprague & Paliwal, 1984).

**Figura 4. Zonas productoras de maíz del mundo y sus rendimientos. Año 2010**



Fuente: FAO, 2016b

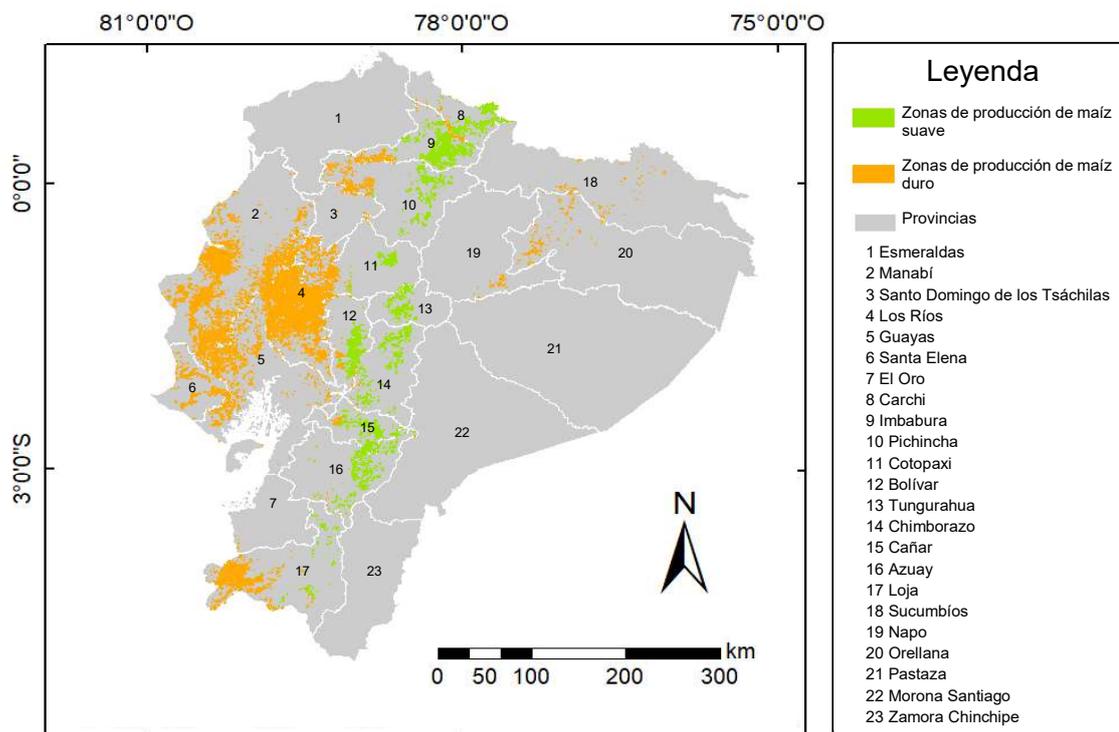
Finalmente, para la productividad del cultivo de maíz un desafío importante, y el cual es el objeto de este estudio, es la variabilidad del clima. Al cual se suma el cambio climático, que en muchas regiones está ya afectando a la productividad de los cultivos, por el incremento de la temperatura, la variabilidad de frecuencia o intensidad de precipitaciones, sequías, lluvias, e incremento de eventos meteorológicos extremos (FAO, 2016c). En países como Argentina, Brasil, México, por ejemplo, se estima que el cambio climático tendrá un impacto como cambio porcentual en el rendimiento del maíz de -36% a -4%, -25% a -2%, -61% a -6%, respectivamente (López, 2015). Si bien los efectos dependen de la región, se espera principalmente impactos negativos, y que perjudicarían a pequeños agricultores que incluso sin riesgos climáticos son ya un sector vulnerable (FAO, 2016b, 2016c).

### **2.1.2 El cultivo de maíz en Ecuador**

En Ecuador se presentan 29 razas de maíz, lo cual favorece a la agrobiodiversidad del país y permite que a través del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) se generen variedades de maíces mejorados (Yáñez et al., 2013). Estas razas se pueden clasificar por las características del grano como color (blanco, amarillo, morado), composición (harinoso, amorochado), y textura (suave y duro); por el tiempo en alcanzar la madurez (precoz, semiprecoz, semitardío y tardío), y por el uso (seco y choclo) (Paliwal et al., 2001; Yáñez et al., 2013).

Considerando la clasificación del maíz en base a la textura del grano y uso, se han tomado como objetos de esta investigación, al maíz suave choclo y maíz duro seco. Esto por encontrarse entre los principales cultivos transitorios de Ecuador y presentar disponibilidad en la información requerida como se explicará posteriormente en la sección de metodología. De estos maíces, la adaptabilidad a condiciones variadas ha permitido cultivarlos en casi todo el territorio nacional continental; la producción del maíz duro por ejemplo, a pesar de que se concentra en la región litoral, se presenta también en la región interandina y amazónica, mientras que la producción del maíz suave es característica en la región interandina, (Figura 5) (Zambrano et al., 2015; Zari, 2014).

**Figura 5. Zonas de producción del cultivo de maíz en Ecuador. Año 2014**



Fuente: MAG, 2018

Elaborado por: Montoya Jacquelin

La importancia de estos maíces en nuestro país, es similar al contexto mundial. Para ambos tipos de maíz se destinan grandes superficies para su producción (Yáñez et al., 2013; Zambrano et al., 2015). En cuanto a los usos, el maíz suave se destina principalmente al consumo humano; y por otro lado el maíz duro se destina en aproximadamente 70% a la alimentación animal, en una de las actividades más dinámicas del sector agropecuario, la avicultura (Rueda et al., 2015; Suquilanda, 2018; Yáñez et al., 2013). El maíz en Ecuador representa también un cultivo de gran impacto social debido a que casi el 75% de la producción total la genera la agricultura familiar, principalmente de subsistencia (Suquilanda, 2018).

Este tipo de agricultura, debido a sus características (Tabla 1), vuelve sumamente vulnerables a los agricultores, pues son productores y consumidores de sus propios alimentos y son quienes se prevé sufrirán mayores impactos debido al cambio climático (Lavell & Witkowski, 2017).

TABLA 1: CARACTERÍSTICAS DE LOS TIPOS DE AGRICULTURA FAMILIAR

<b>Subsistencia (AFS)</b>	<b>Transición (AFT)</b>	<b>Consolidada (AFC)</b>
Hasta 5 hectáreas	Entre 5 y 20 hectáreas	Entre 5 y 20 hectáreas
No contrata mano de obra.	Contrata mano de obra ocasional.	Contrata mano de obra permanente.
Producción para autoconsumo.	Producción para autoconsumo y venta	Producción para venta
Ingresos agrícolas insuficientes.	Ingresos agrícolas permite satisfacer necesidades familiares.	Ingresos suficientes, y con excedente.

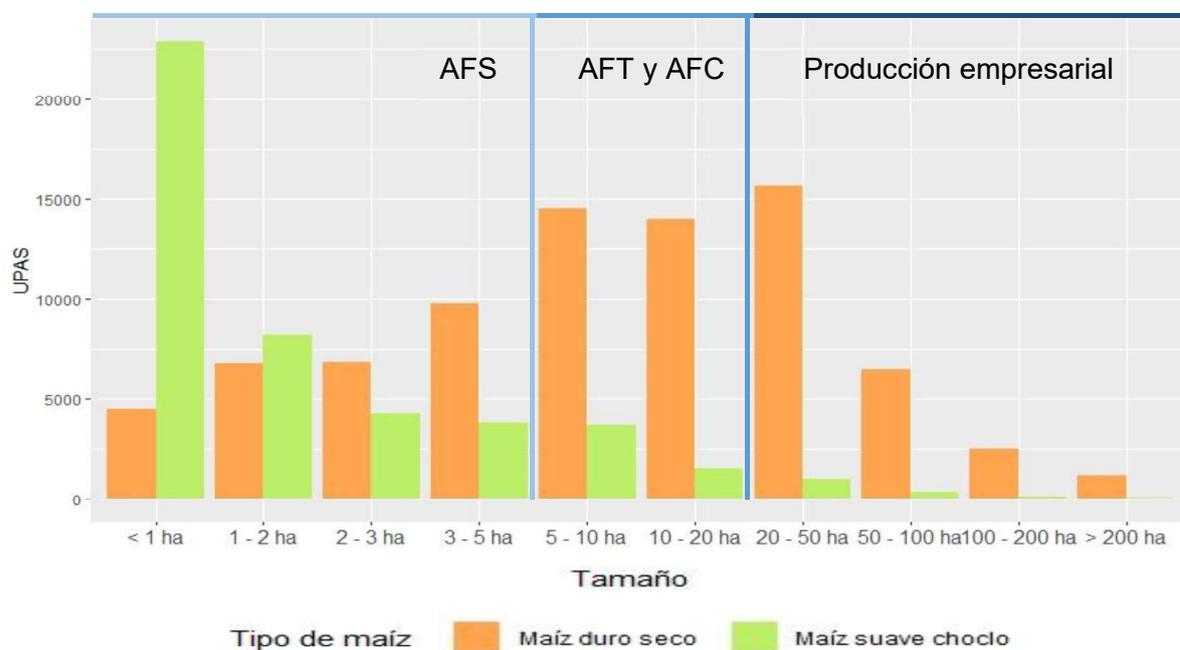
Fuente: Martínez, 2013

Elaborado por: Montoya Jacquelin

En el contexto agrícola nacional, mientras la agricultura familiar de subsistencia predomina en la región interandina y amazónica, la agricultura familiar de transición se presenta sobre todo en la región litoral (Martínez, 2013). Estos mismos patrones se observan para el cultivo de maíz.

El maíz suave choclo, característico de la sierra, se produce principalmente en las unidades de producción agropecuaria (UPA) entre menos de una a cinco hectáreas, mientras que el maíz duro seco, característico de la costa, se produce mayoritariamente en unidades de producción agropecuaria superiores a cinco hectáreas. Por lo tanto, se evidencia la importancia del maíz suave para los pequeños agricultores y del maíz duro para la agricultura familiar de transición, consolidada y para la agricultura empresarial (Figura 6).

**Figura 6. Distribución de tamaños de unidades de producción agropecuaria (UPA), para maíz duro seco y maíz suave choclo**



Fuente: INEC, 2000

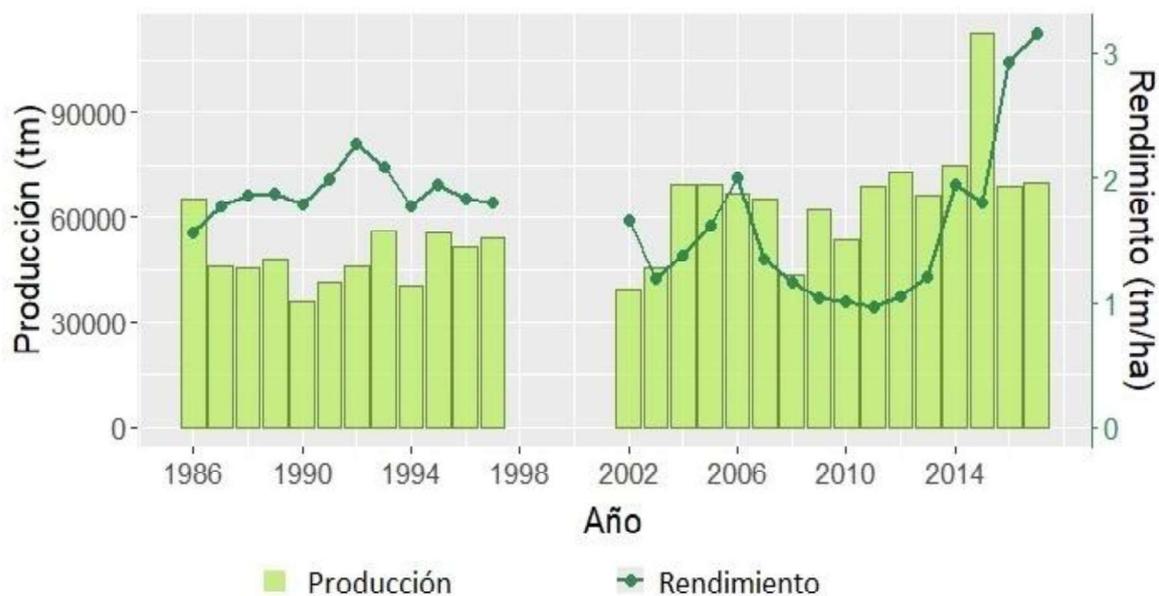
Elaborado por: Montoya Jacquelin

De la evolución de las características agrícolas, se presentan importantes diferencias entre el cultivo de maíz suave choclo y el maíz duro seco.

Por un lado, para el maíz suave choclo las estadísticas indican que la producción se ha mantenido casi constante, el rendimiento ha obtenido bajos valores alrededor de 1 y 2 tm/ha, sin mostrar una tendencia creciente (Figura 7), y la superficie utilizada ha presentado una gran variabilidad, disminuyendo en los últimos años luego de presentar una tendencia creciente desde el 2002 (Figura 8).

El maíz suave choclo al ser destinado a la base alimenticia de pequeños productores y al mercado interno, se cultiva generalmente en zonas no aptas y con suelos expuestos a la erosión, con técnicas inadecuadas, y con escaso material genético mejorado, limitando los ingresos y el uso de insumos, y generando baja productividad, en comparación al maíz duro (Boada & Espinoza, 2016; Suquilanda, 2018).

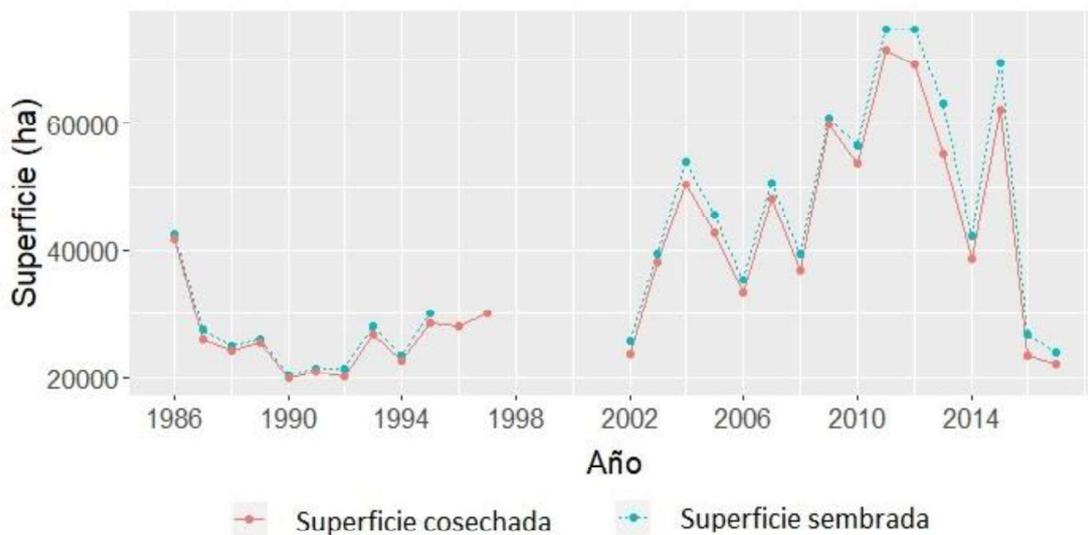
**Figura 7. Comportamiento histórico de la producción y el rendimiento del cultivo de maíz suave choclo en Ecuador**



Fuente: INEC, 2018

Elaborado por: Montoya Jacquelin

**Figura 8. Comportamiento histórico de la superficie sembrada y cosechada del cultivo de maíz suave choclo en Ecuador**



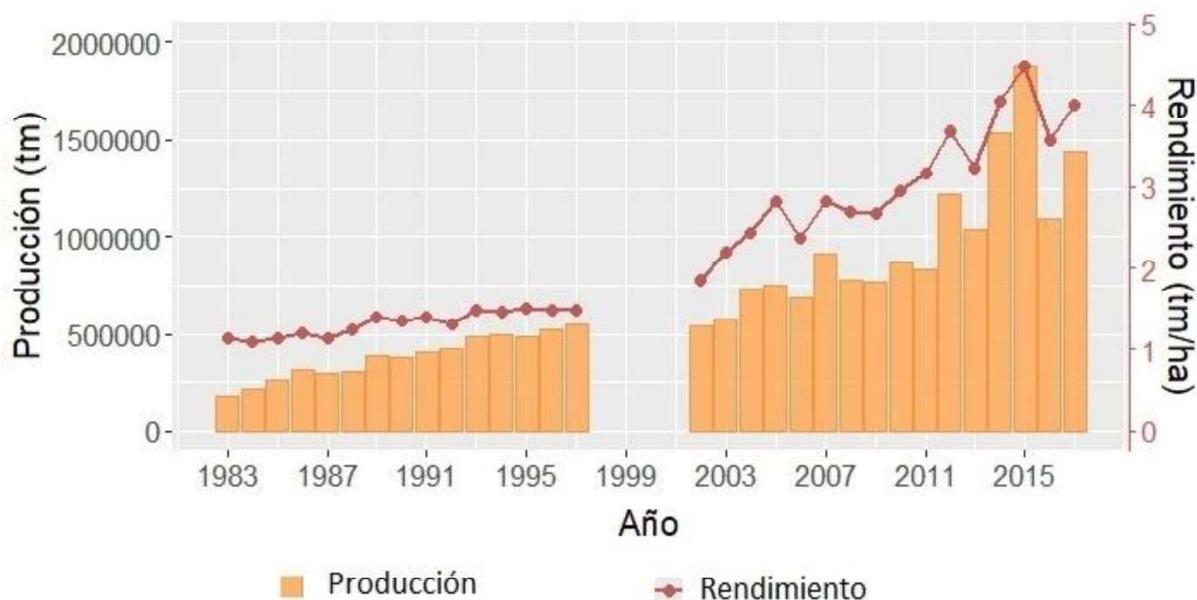
Fuente: INEC, 2018

Elaborado por: Montoya Jacquelin

Por otro lado, para el maíz duro seco se observa un incremento en la producción, y el rendimiento desde el año 2002, mientras que la superficie utilizada para el cultivo presenta una tendencia menor en los últimos años, en comparación a la tendencia creciente que se presentó en el periodo de 1983-1997, Figura 9 y Figura 10.

Estas tendencias, se deberían principalmente al incremento en los precios del mercado internacional, y a la creciente demanda para uso agroindustrial, que promueve esfuerzos para mejorar los rendimientos, como por ejemplo el uso de semillas certificadas (Suquilanda, 2018; Zambrano et al., 2015). Aunque, por otro lado, si bien esta medida incrementa la productividad, podría afectar otros aspectos como la biodiversidad, la concentración de la tierra, la asociatividad y el uso inadecuado de pesticidas y fertilizantes (Bolaños & Tapia, 2019).

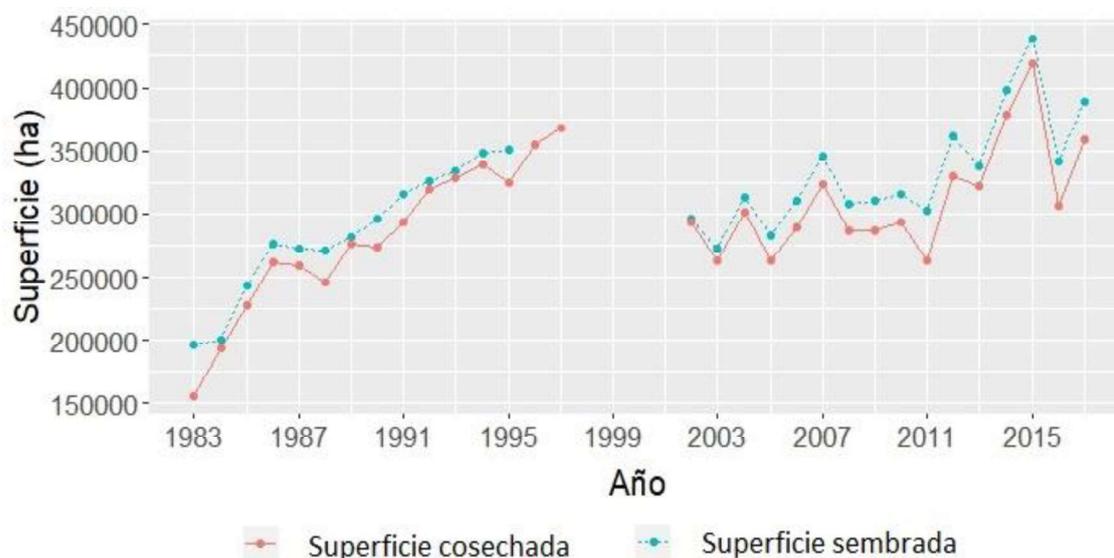
**Figura 9. Comportamiento histórico de la producción y rendimiento del cultivo de maíz duro seco en Ecuador**



Fuente: INEC, 2018

Elaborado por: Montoya Jacquelin

**Figura 10. Comportamiento histórico de la superficie sembrada y cosechada del cultivo del maíz duro seco en Ecuador**



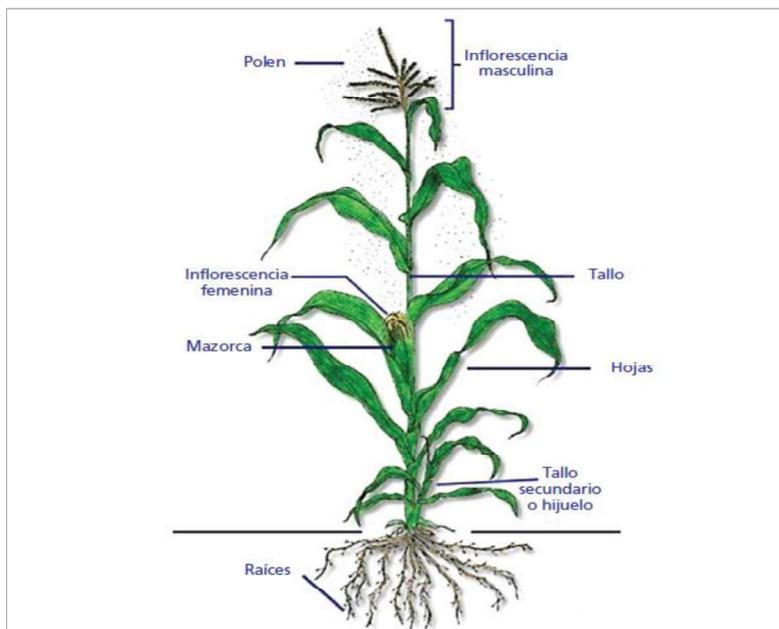
Fuente: INEC, 2018  
Elaborado por: Montoya Jacquelin

### 2.1.3 Agronomía del cultivo

#### 2.1.3.1 Morfología del maíz

El maíz tropical posee un tallo alto, con hasta 30 hojas normalmente, y un sistema radical fibroso (Paliwal et al., 2001). Además, el maíz es monoico, pues desarrolla flores de un solo sexo en diferentes partes de la planta; así presenta yemas apicales por encima de la mitad de la planta, para formar la inflorescencia femenina como mazorcas cubiertas de hojas, y en la parte superior presenta la espiga, representando a la inflorescencia masculina o panoja de la planta (Figura 11) (Paliwal et al., 2001).

**Figura 11. Características morfológicas del maíz**



Fuente: Yáñez et al., 2013

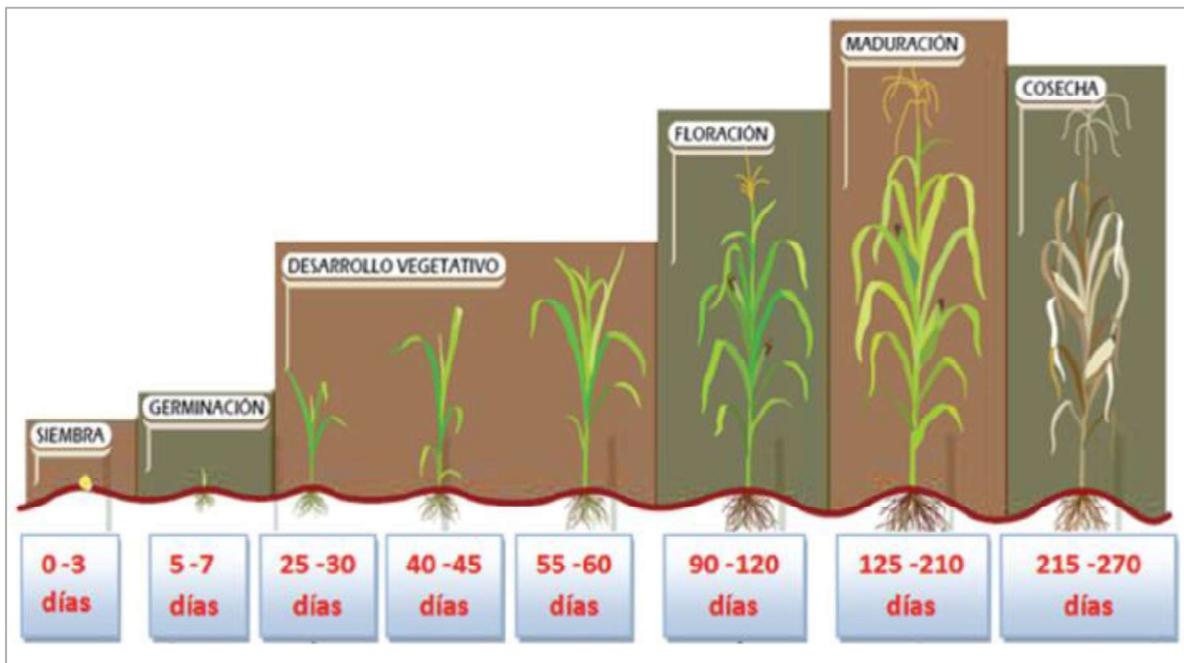
### 2.1.3.2 Ciclo de cultivo del maíz

Todas las plantas de maíz cumplen las mismas fases de desarrollo. No obstante, la duración de cada fase varía en función del híbrido, las fechas de siembra, y las condiciones climáticas locales (Ritchie et al., 1997).

Para el maíz suave, por ejemplo, el ciclo del cultivo puede completarse entre 110 a 270 días aproximadamente, mientras que para el maíz duro varía entre alrededor de 110 a 140 días desde la siembra (Figura 12) (INIAP, 2014a, 2014b; Yáñez et al., 2013).

El periodo de siembra, para el maíz suave va desde septiembre hasta mediados de enero, dependiendo la localidad y la disponibilidad de agua por riego o por lluvias. Para el maíz duro, en la costa, se realizan generalmente dos ciclos de cultivo; el primero durante la época lluviosa desde enero a febrero, y el segundo antes de iniciarse la época seca para aprovechar la humedad remanente, durante mayo a junio (INIAP, 2014b, 2014a).

**Figura 12. Ciclo de cultivo y duración de las etapas para el maíz suave**



Fuente: Yáñez et al., 2013

Para comprender el desarrollo de la planta, se presenta en la Tabla 2, la descripción de cada etapa del ciclo de cultivo del maíz, desde la siembra hasta la maduración.

TABLA 2: DESCRIPCIÓN DE LAS FASES DEL CICLO DE CULTIVO DEL MAÍZ

<b>Etapa</b>	<b>Descripción</b>
Siembra	Colocación de las semillas en el terreno.
Germinación	La semilla absorbe la humedad del suelo, emerge la radícula alargándose horizontalmente, y aparecen del otro lado las raíces seminales.
Emergencia	La planta emerge del suelo. Desde el mesocotilo surgen las raíces adventicias, las cuales serán el principal sistema de absorción de agua y nutrientes, y mantendrán erguida la planta durante las siguientes fases.
Desarrollo vegetativo	<p>Formación de la estructura foliar desde el coleoptilo, en los estadios conocidos como estadio V1 correspondiente a la primera hoja, hasta Vn correspondiente a la última hoja.</p> <p>Durante V6 se da la elongación del tallo, y cerca de V9, en cada nudo del tallo, excepto en los más cercanos a la panoja, se desarrolla una mazorca potencial, siendo únicamente la primera o las dos primeras superiores las que lograrán ser productivas.</p> <p>Una vez desarrollada la última hoja, continúa el estadio VT o panojamiento, donde se desarrolla la panoja, se determina el número de óvulos que serán fertilizados e inicia la liberación de polen.</p>
Desarrollo reproductivo	<p>En R1 o floración, aparecen los estigmas de las mazorcas, y como la liberación del polen ya se había iniciado con anterioridad, ocurre la polinización.</p> <p>En el estadio R2, la mazorca casi alcanza su tamaño final. En R3 y R4 se da una acumulación de almidón, y para R5, los granos empiezan a secarse.</p> <p>Finalmente, en el estadio R6 el cultivo alcanza su madurez fisiológica, logrando su máximo crecimiento o acumulación de materia, con un contenido de humedad de aproximadamente entre 30-35%.</p> <p>Cuando se requiere el cultivo como grano seco, se lo deja secar en el campo para evitar costos de secado, y hasta que alcance aproximadamente 13-15% de humedad, con lo cual podrá ser almacenado.</p>

Fuente: Fassio et al., 1998; Paliwal et al., 2001; Ritchie et al., 1997

Elaborado por: Montoya Jacquelin

### 2.1.3.3 Factores que influyen sobre el rendimiento del cultivo

Para que la planta cumpla exitosamente su ciclo y genere buenos rendimientos, son importantes los factores socioeconómicos, bióticos y abióticos.

Entre los primeros están aspectos como las prácticas de manejo del cultivo, la tecnología, y las políticas del sector agrícola; de los factores bióticos que influyen sobre el rendimiento se tienen la presencia de plagas y enfermedades, y finalmente de los factores abióticos, condiciones del suelo como la erosión y el bajo contenido de nutrientes, y el clima (Boada & Espinoza, 2016; SENAMHI, 2013; Paliwal et al., 2001). El rendimiento del cultivo de maíz depende de manera importante del clima. En Ecuador para el maíz duro y el maíz suave se estiman como requerimientos óptimos los presentados en la Tabla 3. En esta se observa, lo indicado por Paliwal et al. (2001), que en zonas tropicales, los cultivares de maíz en zonas altas se desarrollan a una menor temperatura, en comparación a los cultivares de zonas bajas, y adicionalmente en ambos casos se requiere un significativo aporte hídrico de las lluvias.

TABLA 3: CARACTERÍSTICAS AGROECOLÓGICAS DEL MAÍZ

<b>Condición ambiental</b>	<b>Maíz suave</b>	<b>Maíz duro</b>
Altitud	2200 a 3000 msnm	45 a 125 msnm
Temperatura	10 a 20 °C	22 a 32 °C
Precipitación	700 a 1300 mm/año	550 a 2000 mm/año
pH	5,5 a 7,5	5,5 a 7,3

Fuente: INIAP, 2014b, 2014a, MAGAP, 2015a, 2015b

Elaborado por: Montoya Jacquelin

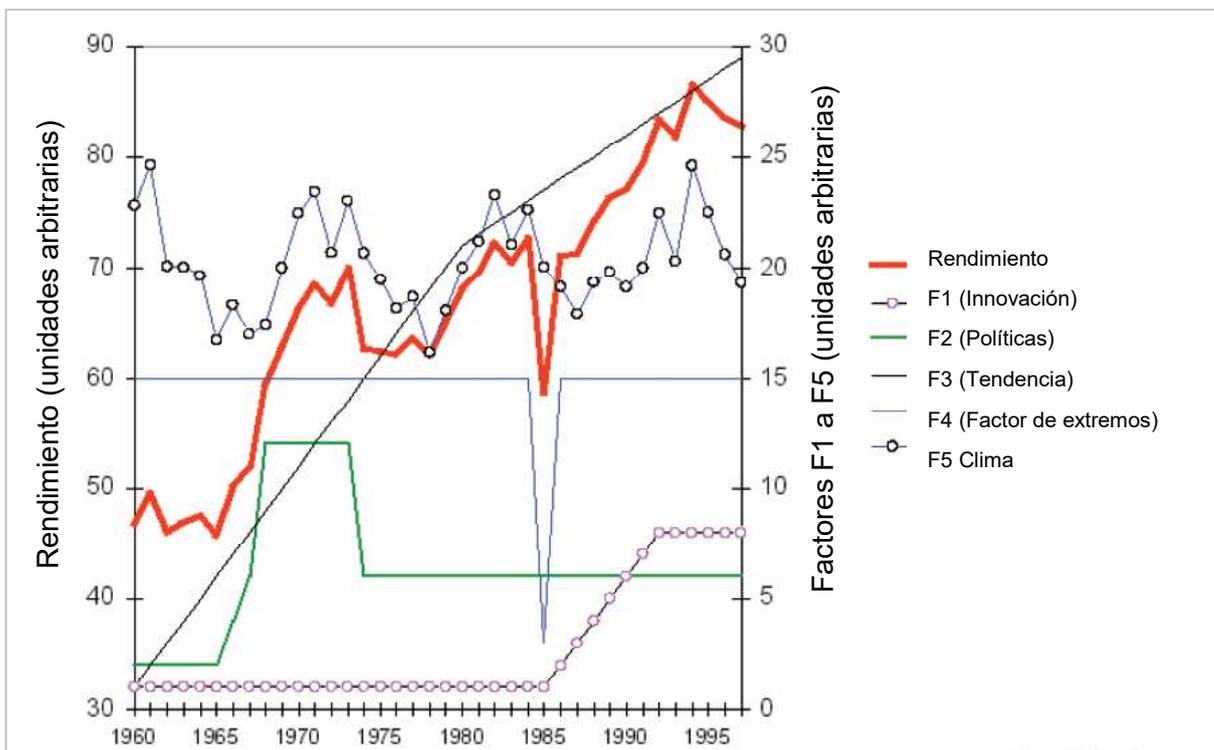
Una vez revisados los factores que influyen sobre el rendimiento, se debe comprender también que los datos de este indicador constituyen una serie temporal, y por lo tanto se componen de tendencia, variaciones cíclicas, variaciones estacionales y aleatoriedad (Figura 13).

Las variaciones cíclicas y estacionales son oscilaciones alrededor de la tendencia, con amplitud superior e inferior al año respectivamente, y se atribuyen a fenómenos económicos, y a las estaciones climáticas, respectivamente (SENAMHI, 2013).

Mientras que, la tendencia muestra el comportamiento del rendimiento a largo plazo y se asume que se presenta debido a la implementación de tecnologías que

generan avances productivos, a través de control de plagas y fertilización, o el uso de variedades mejoradas (Balaghi et al., 2013; Poudel & Shaw, 2016; SENAMHI, 2013, Gommès, 2012). Por lo tanto, de la serie de rendimiento, la tendencia debe ser removida para evaluar la influencia climática (SENAMHI, 2013).

**Figura 13. Ejemplo hipotético de la influencia de los diferentes factores sobre el rendimiento**



Fuente: Gommès, 2010

#### 2.1.4 El clima

El clima es el resultado de una compleja interacción, de fuerzas externas como: el sol, y la órbita de la tierra; así como también de fuerzas internas entre los componentes del sistema climático: la atmósfera, la hidrósfera, la criósfera, la litósfera y la biósfera (Houghton, 2002).

La descripción del clima, se hace a través de variables como el viento, la nubosidad, la radiación, la presión, la humedad, y más comúnmente la precipitación y la temperatura (Houghton, 2002). Variables que cambian en escalas espaciales y temporales.

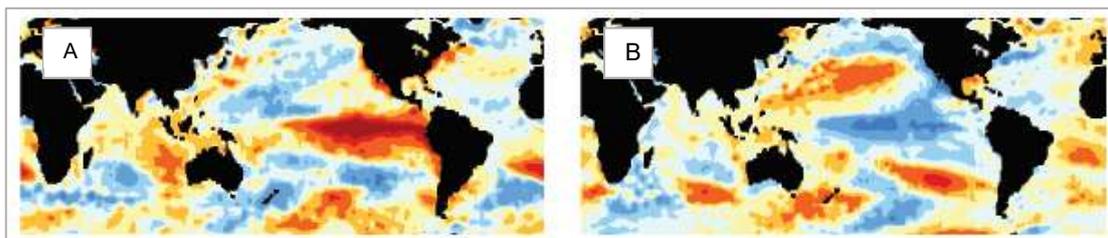
#### 2.1.4.1 Variabilidad climática y cambio climático

Dos conceptos importantes, pero diferentes, son la variabilidad climática y el cambio climático. Por un lado, la variabilidad climática representa las fluctuaciones del clima a largo plazo y que, dentro de un rango, están por encima o por debajo de un valor medio; mientras que el cambio climático, a largo plazo, presenta un cambio continuo en el valor medio o el rango (Dinse, 2018).

El cambio climático, es atribuido directa o indirectamente a las actividades humanas que alteran la composición de la atmósfera, y que se suma a la variabilidad natural (como se cita en WMO, 2019). La variabilidad climática, por otro lado, se atribuye a procesos naturales, en el cual las fluctuaciones de los patrones del clima se dan en una escala temporal cíclica, que incluye fenómenos multi-anales, multi-decadales, e incluso centenarios (NOAA, 2018).

Entre estos fenómenos climáticos, El Niño Oscilación del Sur (ENSO, por sus siglas en inglés), que ocurre cada dos a siete años, representa la señal más fuerte de la variación interanual dentro del sistema oceánico-atmosférico (NOAA, 2018; Wang et al., 1999; WMO, 2014). Este fenómeno consta de dos componentes: el atmosférico y el oceánico. El componente atmosférico, Oscilación Sur, representa un aumento de la presión del aire sobre Indonesia, que causa fluctuaciones de las masas de aire y debilita los vientos alisios. Mientras que el segundo, el componente oceánico, representa el incremento de la temperatura superficial del océano Pacífico tropical central y oriental. Con estas condiciones se da la fase de El Niño, (Figura 14A), mientras que con condiciones inversas de presión del aire y el enfriamiento del océano se da La Niña (Figura14B) (Wang et al., 1999; WMO, 2014). Se tiene también la fase neutra.

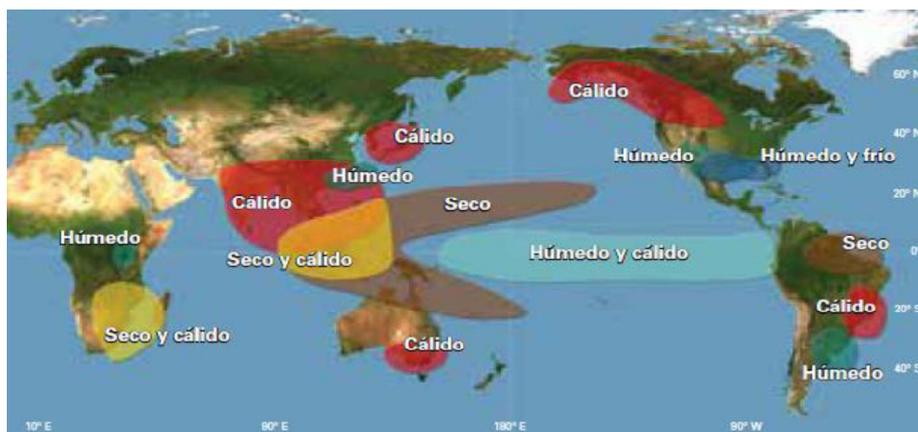
**Figura 14. Fases de ENSO A) El niño, B) La niña**



Fuente: NOAA, 2018

Estas fluctuaciones, en la fase de El Niño, tienen como resultados principales, un incremento en las precipitaciones en las costas del Pacífico, y condiciones cálidas y secas en Indonesia, Filipinas, Malasia, Australia, y algunas islas del Pacífico central (Figura 15) (WMO, 2014).

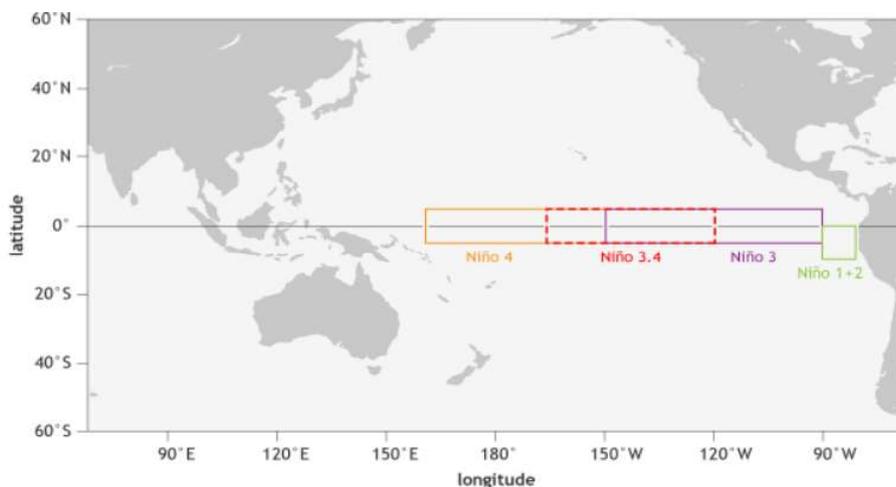
**Figura 15. Efectos comunes de El Niño (diciembre a febrero)**



Fuente: WMO, 2014

Para monitorear estas fases de ENSO se tiene, por ejemplo, el índice oceánico del niño (ONI), el cual representa el promedio de las anomalías de la temperatura de la superficie del mar cada tres meses, en la Región 3.4 del Pacífico central (Figura 16). Con este índice se considera que valores superiores a +0,5 indican el calentamiento por encima de lo normal del océano Pacífico, y por lo tanto se presenta la fase de El Niño; mientras que con valores menores a -0,5 se indica un enfriamiento del Pacífico y por lo tanto la ocurrencia de La Niña (Dahlman, 2016).

**Figura 16. Regiones de ENSO**



Fuente: Dahlman, 2016

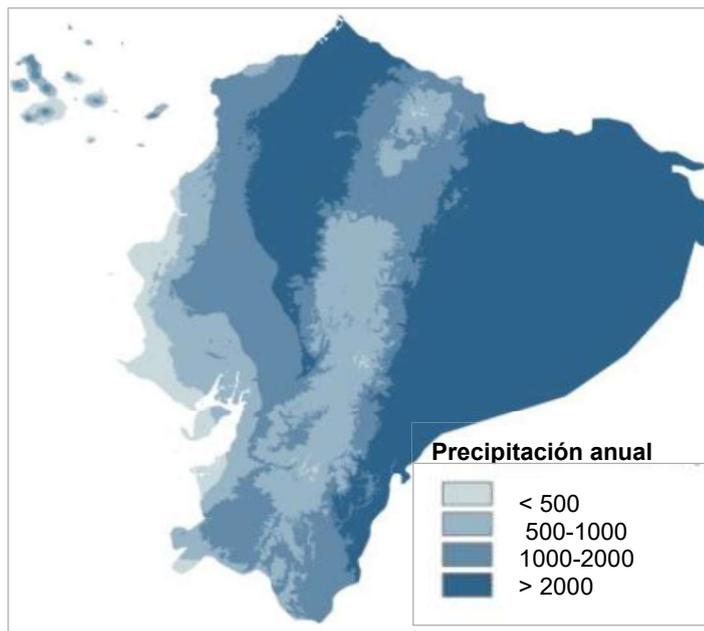
#### 2.1.4.2. El clima en el Ecuador

El Ecuador, debido a sus características geográficas y de relieve posee una gran variedad de microclimas y climas (MAE, 2017). La región litoral se caracteriza por un clima muy húmedo, seco-húmedo y tropical árido, al norte, centro sur y suroeste, respectivamente (Varela & Ron, 2018). Durante la estación húmeda, entre diciembre y mayo aproximadamente, por la influencia de la corriente de El Niño, se presentan abundantes lluvias y altas temperaturas, mientras que la estación seca debido a la influencia de la corriente de Humboldt, de junio a diciembre, presenta lluvias escasas y temperaturas más bajas (Varela & Ron, 2018).

La región Sierra, se caracteriza en cambio por un clima tropical muy húmedo en las vertientes externas de la cordillera de los Andes, seco en los valles interandinos y frío en los páramos (MAE, 2017). Mientras que en la región amazónica el clima es tropical muy húmedo (Varela & Ron, 2018).

Del régimen de precipitaciones anuales, en la costa varía entre 60 a más de 2000mm, en la sierra de 300 a 1500mm con régimen bimodal, entre marzo-abril y octubre-noviembre, debido a la influencia alternada de masas de aire oceánicas y amazónicas, y finalmente en la amazonía la precipitación es alrededor de 4500mm, (Figura 17) (Varela & Ron, 2018).

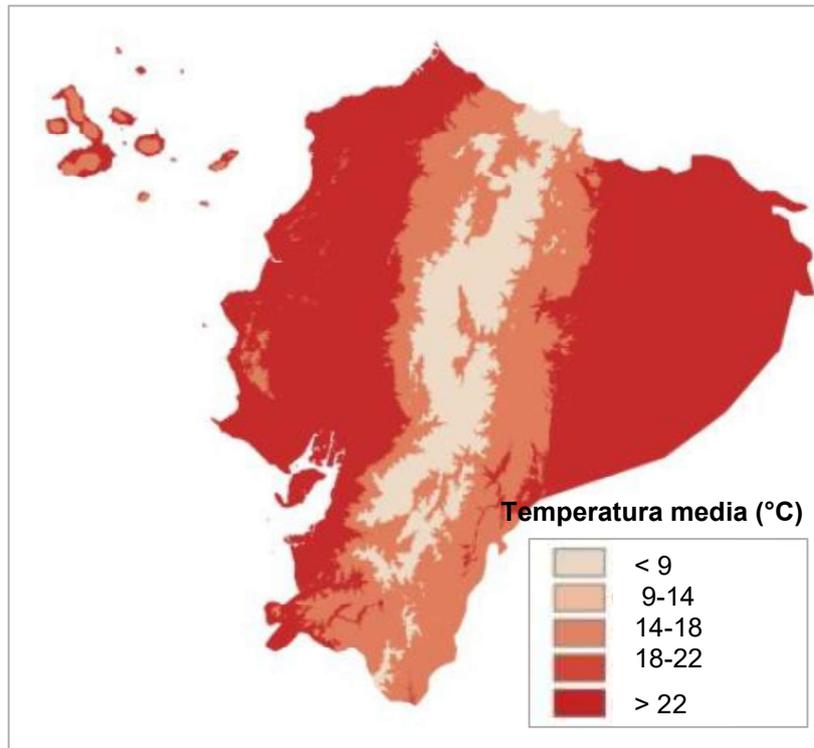
**Figura 17. Precipitación anual en Ecuador**



Fuente: WorldClim - Global Climate Data. Tomado de: Varela & Ron, 2018

En cuanto a la temperatura promedio, para la región litoral está alrededor de 22-25°C, para la sierra, debido a que la temperatura está muy ligada a altitud, entre los 1500 y 3000 m se presenta una temperatura promedio entre 8 y 20°C y la amazonía de 24-25°C, (Figura 18)(Varela & Ron, 2018).

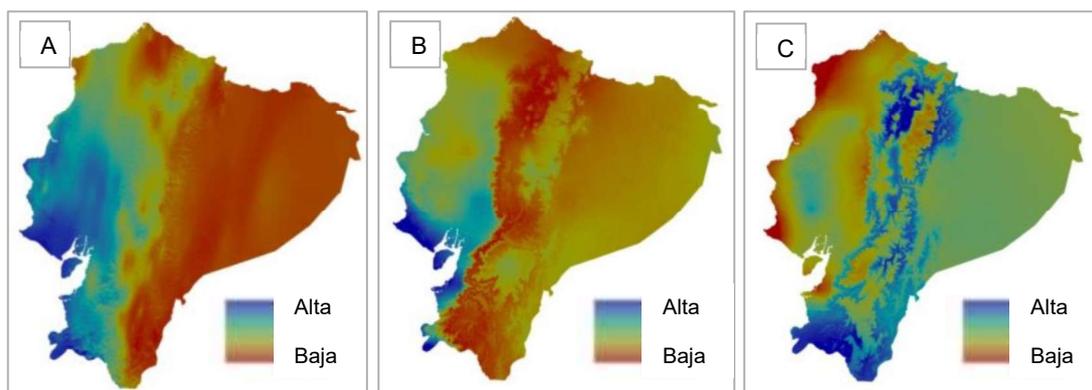
**Figura 18. Temperatura media anual en Ecuador**



Fuente: WorldClim - Global Climate Data. Tomado de: Varela & Ron, 2018

De la variabilidad, debido al movimiento de las masas de aire, se presentan fluctuaciones anuales de la precipitación, principalmente en el litoral y la sierra, mientras que en la amazonía se tiene un patrón más estable (Figura 19A) (Varela & Ron, 2018). Para la temperatura media anual, existe baja variabilidad debido a la ubicación geográfica, ya que a lo largo del año se tiene una duración similar de las horas luz y una cantidad de radiación constante (Figura 19B). Para la temperatura diaria se presenta una pequeña variación de 10°C en el litoral y la amazonía, debido a la humedad en estas zonas; mientras que por la ausencia de esta, se tiene una variación de la temperatura diaria de hasta 20°C en la sierra (Figura 19C) (Varela & Ron, 2018).

**Figura 19. Variación de A) Precipitación anual, B) Temperatura anual C) Temperatura diaria, en Ecuador continental**



Fuente: MAE. Tomado de: Varela & Ron, 2018

Sobre la variabilidad climática en Ecuador, durante el periodo 1960-2010, el análisis realizado por el INAMHI para la Tercera Comunicación Nacional, ha identificado algunos patrones Tabla 4. En estos se evidencia incrementos en la precipitación, en la temperatura máxima y la temperatura mínima, con algunas excepciones (MAE, 2017). Para la región insular se presentan incrementos en todas las variables analizadas: precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima. Mientras que para la región amazónica se indica una escasa disponibilidad de estaciones meteorológicas, lo que limita realizar estudios climáticos en esta zona (MAE, 2017).

TABLA 4: HALLAZGOS SOBRE VARIABILIDAD CLIMÁTICA EN ECUADOR, 1960-2010

Región	Variable Climática	Tendencia	Cambio
Litoral	Precipitación	Mayor parte de la región 	33% en promedio
	Temperatura máxima	Estaciones Chone, Pichilingue y Babahoyo 	-0,6 a -0,1%
		Resto de localidades 	0,4 a 1,2°C
Temperatura mínima	Toda la región 	0,9 a 2,7°C	
Sierra	Precipitación	Zona norte (El Carmelo, y El Ángel) 	-36 y -24%
		Zona sur (Celica y Yangana) 	-16 y -23%
		Resto de la región 	2 a 68%
	Temperatura máxima	Mayor parte de la región 	1,6°C en promedio
	Temperatura mínima	Zona norte (San Gabriel, Otavalo) 	-1,1 y -2,4°C
Zona sur (Cañar, Cuenca) 		0,7 y 2,4°C	
Amazonía	Precipitación	Información escasa	-
	Temperatura máxima	-	-
	Temperatura mínima	-	-
Galápagos	Precipitación	Estación San Cristóbal 	66%
	Temperatura máxima	Estación San Cristóbal 	1,0°C
	Temperatura mínima	Estación San Cristóbal 	1,1°C

Fuente: MAE, 2017

Elaborado por: Montoya Jacquelin

Dentro de la variabilidad climática en nuestro país es importante también mencionar los patrones locales generados por fenómenos climáticos globales, como es el caso de ENSO. Es así que el índice de El Niño 3.4, por ejemplo, puede explicar los eventos de sequías en la cordillera, y el índice El Niño 1+2 está relacionado a las sequías en las llanuras occidentales (Serrano et al., 2011). Adicionalmente, la ocurrencia de las sequías depende de la fase de ENSO, y es así que estos eventos incrementan en los Andes con la fase de El Niño, y en las llanuras occidentales con fase de La Niña (Serrano et al., 2011).

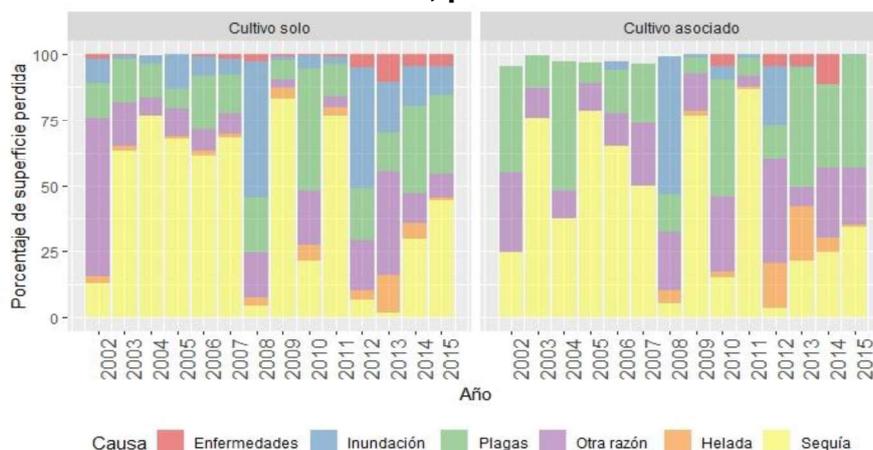
### 2.1.4.3. El clima y su impacto en la agricultura

La agricultura ha sido una actividad humana que se ha adaptado a la variabilidad climática, sin embargo, en la actualidad la adaptación al cambio climático constituye un reto más complejo debido a la velocidad de los cambios (CEPAL et al., 2011; López, 2015). Ambos fenómenos, podrían afectar a la seguridad alimentaria, al generar impactos negativos sobre todos los componentes del sistema: la producción, el área sembrada y el rendimiento (Iizumi & Ramankutty, 2015).

De acuerdo a la Tercera Comunicación Nacional, eventos climáticos como sequías, inundaciones, y el fenómeno de ENSO, son considerados importantes amenazas naturales para la actividad agrícola en el país (SGR et al., 2012). En los últimos años, Ecuador ha sufrido impactos sociales, económicos y ambientales debido a variaciones climáticas importantes, como las frecuentes sequías en la sierra central: Cotopaxi, Tungurahua, Bolívar y Chimborazo; e inundaciones en Manabí, Los Ríos, Guayas, El Oro y Loja (MAG, 2016).

Según los datos del INEC, a través del ESPAC, y a pesar de que algunos se encuentran ocultos por confidencialidad estadística, se evidencia fácilmente como el clima tiene un importante papel en la agricultura del maíz en Ecuador, en relación a las pérdidas de superficie sembrada. Así para el maíz duro seco se evidencia que la sequía representa una de las causas más importantes para la pérdida de superficie sembrada, (Figura 20). Mientras que, para el maíz suave además de las sequías, se presentan también importantes pérdidas de la superficie sembrada debido a las heladas, (Figura 21).

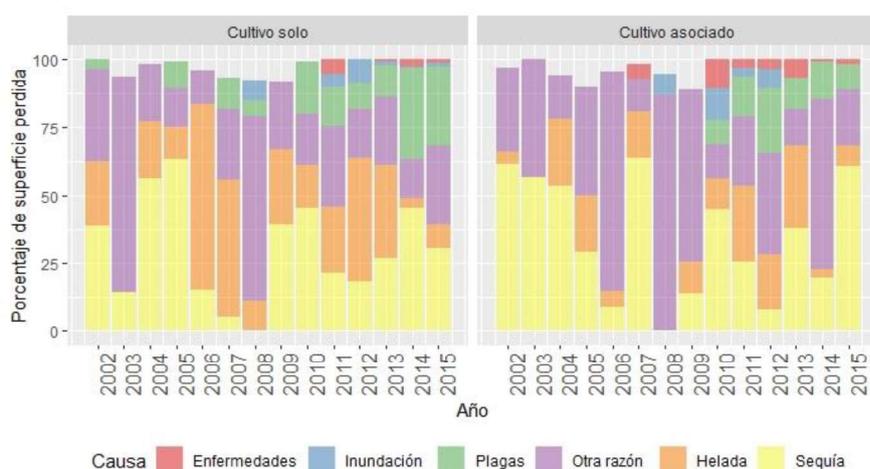
**Figura 20. Porcentaje de superficie perdida de cultivo de maíz duro seco por diferentes causas, periodo 2002-2015.**



Fuente: INEC, 2018

Elaborado por: Montoya Jacquelin

**Figura 21. Porcentaje de superficie perdida de cultivo de maíz suave choclo por diferentes causas, periodo 2002-2015.**



Fuente: INEC, 2018

Elaborado por: Montoya Jacquelin

### 2.1.4.3. Análisis temporal y espacial de la información climática

Para garantizar la fiabilidad de los resultados de todo estudio climático, es indispensable previamente realizar un control de calidad de datos, relleno de series y prueba de homogeneidad (WMO, 2011). Esto con el fin de identificar y eliminar datos erróneos, tener series completas y verificar que la variabilidad de los datos se debe exclusivamente al elemento climático y no a factores no climáticos (Guijarro, 2004; WMO, 2011).

Adicionalmente, algunas veces los registros climáticos presentan limitación espacial debido a la insuficiente distribución de estaciones y para manejar esto se utilizan métodos de interpolación espacial (Mendelsohn, 2008; Mourtzinis et al., 2017; Park et al., 2018). Para lograr este análisis temporal y espacial de la información climática se utilizaron diferentes herramientas, y son descritas a continuación.

## **2.1.5 Herramientas**

### **2.1.5.1 Paquete Climatol**

Para verificar la calidad de los datos, rellenar vacíos y confirmar la homogeneidad de las series se optó por utilizar Climatol, un paquete desarrollado bajo el software R, y el cual es considerado como uno de los más eficientes para manejar tanto la variable de precipitación como la de temperatura (Guijarro et al., 2016).

Además entre las ventajas del paquete, este permite manejar cualquier variable climática y con diferentes escalas temporales, presenta una alta tolerancia a los vacíos y no requiere asumir una serie como homogénea, pues la metodología acepta que todas las series presentan inhomogeneidades y que para disminuirlas se debe construir una serie de referencia a partir de todos los datos disponibles (De Luque Söllheim, 2011; Guijarro, 2004, 2018).

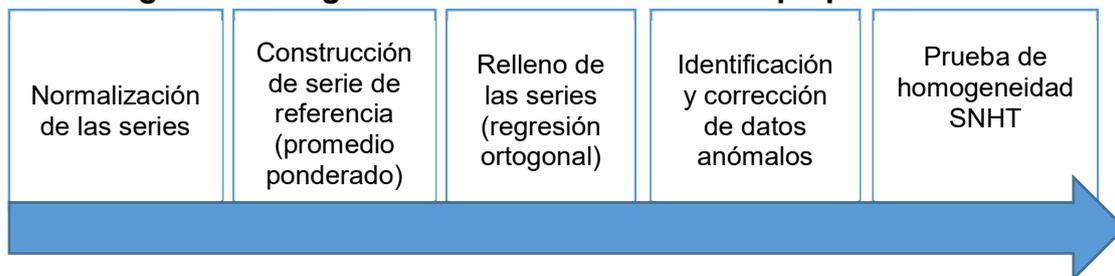
Al comparar la serie problema con esta serie de referencia, sus diferencias, deberían estar libres de oscilaciones bruscas, y al no ser así estas se consideran como inhomogeneidades. La homogeneidad por lo tanto será relativa, pues se esperan similares variaciones del elemento climático cerca de la zona de la serie problema (Guijarro, 2004).

Del funcionamiento (Figura 22), Climatol primero normaliza los datos para que las series sean comparables. Luego, construye la serie de referencia, a través de un promedio ponderado de los datos normalizados de las estaciones con mejor correlación a cada serie y en función inversa a la distancia. Debido a que esta reconstrucción se realiza con datos incompletos, su media difiere de la del periodo completo de estudio y para evitar este inconveniente, el proceso se da de manera iterativa hasta estabilizar la media (Guijarro, 2018).

Una vez estimada la serie de referencia, se realiza con esta una regresión de tipo II o regresión ortogonal para el relleno de datos de la serie original (Gujarro, 2004). Adicionalmente, se identifican los datos anómalos y se los corrige reemplazándolos por los datos estimados (Gujarro, 2018).

Finalmente para comprobar la homogeneidad de las series climáticas, se realiza la prueba de homogeneidad normal estándar (SNHT), en la cual se calcula la diferencia entre la serie original y la serie estimada (normalizadas), generando una serie de anomalías, la misma que comparada con una serie umbral permite identificar los saltos en la media y fragmentar las series en subseries potencialmente homogéneas (Gujarro, 2004; CRAN.R-project, 2018). Dado que la prueba SNHT fue pensada para hallar un único punto de cambio, Climatol aplica la prueba por segmentos, luego sobre la serie completa y finalmente rellena las subseries con la metodología de relleno explicada anteriormente (Gujarro, 2018). Como resultado se obtienen ficheros con las series homogéneas originales o reconstruidas y un metadato codificado con “0”, “1” y “2” para los datos originales, los rellenos y los corregidos respectivamente (Gujarro, 2018).

**Figura 22. Diagrama de funcionamiento del paquete Climatol**



Fuente: Gujarro, 2018  
Elaborado por: Montoya Jacquelin

### 2.1.5.2. Interpolación espacial

La interpolación espacial es un proceso que a través de valores conocidos de un atributo genera una superficie continua (ráster), para obtener el valor del atributo en cualquier ubicación dentro de la misma región (Zhu, 2016).

Existen los métodos de interpolación simple como la distancia inversa ponderada (IDW) o el kriging, los métodos complejos que incluyen redes neuronales artificiales, o métodos que utilizan imágenes satelitales (Yang et al., 2015). Usualmente se

realizan comparaciones, para identificar el método más preciso. Sin embargo, en este estudio se optó por utilizar el método de la distancia inversa ponderada.

La distancia inversa ponderada es un método que calcula los valores desconocidos mediante un promedio ponderado, considerando que las observaciones más cercanas al punto a estimar tienen una mayor influencia que las observaciones más alejadas, y matemáticamente se la expresa mediante la ecuación (1), donde “ $Z_o$ ” representa el valor interpolado, “ $Z_i$ ” los valores observados; y la ponderación (“ $w_i$ ”) se expresa con la ecuación (2), donde “ $d$ ” son las distancias desde el valor observado al interpolado, y “ $r$ ” la significancia o potencia de las observaciones para el valor estimado (Zhu, 2016).

$$Z_o = \sum_{i=1}^n w_i Z_i \quad (1)$$

$$w_i = d_i^r / \sum_{j=1}^n (1/d_j^r) \quad (2)$$

Mayores valores para  $r$  aumentan la influencia de los puntos cercanos, presentando una superficie más detallada, mientras que valores menores asignan una influencia más homogénea, presentando una superficie más suave (Zhu, 2016). El proceso de interpolación también depende del tamaño de la celda o píxel, que al ser la entidad espacial fundamental del ráster, influye en las características que presenta; así una mayor resolución presentará mayor detalle mientras que una menor resolución dará como resultado un patrón más general del atributo de interés (Hengl, 2006).

La cantidad de observaciones para interpolar cada punto, y el radio dentro del cual se consideran dichas observaciones, son otros criterios para la interpolación, y cuyos valores se indican y justifican en la sección de metodología (ESRI, 2016).

Finalmente, para trabajar con información ráster creada a partir de las observaciones, se puede verificar la bondad de la información creada, a través de la validación cruzada (Zhu, 2016).

### 2.1.5.3. Conceptos estadísticos

Al estudiar la asociación entre variables, es posible cuantificar la relación a través de un coeficiente de correlación, e identificar la dirección o tipo de relación a través del signo del coeficiente (Orellana, 2001). La dirección de la relación, puede identificarse al analizar el denominador de la covarianza, la cual expresa la variación conjunta de dos variables, mediante la ecuación (3).

$$COV(X, Y) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y}) \quad (3)$$

Sin embargo, debido a que la covarianza depende de las unidades de los datos, la magnitud de esta no puede ser interpretada a menos que sea estandarizada, dando como resultado el coeficiente de correlación de Pearson, ecuación (4), donde  $s_x$  y  $s_y$  son las desviaciones estándar.

$$r = Corr(X, Y) = \frac{COV(X, Y)}{s_x s_y} = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{(n-1)s_x s_y} \quad (4)$$

Este coeficiente indica una relación lineal, donde los valores van de -1 a 1, donde los negativos describen una relación inversa y los positivos una relación directa, además mientras más cercano al valor absoluto de 1 más fuerte es la relación, implicando que con el valor de cero no existe relación lineal, y quizá otro tipo de relaciones deberían ser examinadas (Orellana, 2001). Frente a los datos anómalos, surge un coeficiente más robusto, el coeficiente de Spearman, que identifica relaciones no necesariamente lineales sino monotónicas, con las mismas consideraciones de rango e interpretación de valores. Para su cálculo se ordenan los valores en un grupo para cada variable, se les asigna el valor de sus posiciones, y estos se los utiliza en la ecuación de Pearson (Orellana, 2001).

Finalmente, de interés para este estudio son los modelos de regresión múltiple. Estos son una generalización de los modelos simples, y son utilizados para evaluar la relación lineal entre la variable dependiente (rendimiento), y dos o más variables independientes (precipitación, temperatura máxima y mínima mensual). El modelo

se ajusta con la suma de mínimos cuadrados, para minimizar la diferencia entre los valores observados y los que se predicen, a través de la expresión (5) (Haji, 2013).

$$Y_i = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + \dots + B_nX_n + \varepsilon \quad (5)$$

Donde,  $Y_i$  es la variable dependiente,  $B_0$  es una constante,  $B_1 \dots B_n$  son parámetros estimados,  $X_1 \dots X_n$  son las variables explicativas o independientes, y  $\varepsilon$  es el error.

Los parámetros beta, conocidos como coeficientes parciales de regresión, representan la variación de la variable dependiente por cada unidad que incrementa la variable independiente correspondiente, cuando el resto de variables independientes se mantienen constantes (Amat, 2016a).

Los supuestos que el modelo lineal múltiple idealmente debería cumplir, como indica Amat (2016), son:

- **Distribución normal de los residuos:** La diferencia entre los valores observados y los estimados por el modelo, los residuos, debe presentar una distribución normal, para lo cual se utilizan test de Shapiro Wilks.
- **Independencia de los residuos:** los residuos de las observaciones no deben presentar autocorrelación, lo cual es principalmente importante con series temporales. Para verificar esta condición, se utiliza el test de Durbin-Watson.
- **Homocedasticidad:** la varianza de los residuos debe ser uniforme en el rango de observación. Esta condición puede comprobarse con el test de Breusch-Pagan.
- **No multicolinealidad:** las variables independientes no deben estar correlacionadas entre ellas. Esto se verifica con el factor de inflación de la varianza (VIF), cuyo valor de 1 indica ausencia total de colinealidad, valores entre 1 y 5 representan cierta colinealidad y valores superiores a 5 alta colinealidad.

Para verificar la bondad de ajuste del modelo, se tiene el coeficiente de determinación ( $R^2$ ), el cual describe el porcentaje de varianza de  $Y_i$ , atribuido a la variabilidad de  $X_n$ . Pero debido a que este coeficiente incrementa a medida que se

incorporan variables independientes al modelo, se sugiere utilizar el coeficiente de determinación ajustado ( $R^2_{ajustado}$ ). Para verificar que el modelo es significativo, se evalúa el error estándar, que al ser el promedio de las distancias de los puntos a la línea de regresión, se espera sea mínimo (Amat, 2016a).

Estos indicadores expresan el ajuste del modelo en relación a las mismas observaciones con las que el modelo se construyó, cumpliendo una validación con fin explicativo. Sin embargo, si se quisiera que los modelos se utilicen para predicción, se requeriría una evaluación con observaciones no utilizados para la generación del modelo, o cuando esto no es posible con validación cruzada (Amat, 2016c).

## 2.2 ESTADO DEL ARTE

### 2.2.1 Revisión bibliográfica

A continuación, se presenta en la Tabla 5 un resumen de la literatura revisada para el desarrollo de esta investigación.

TABLA 5: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Autor	Objetivo y metodología	Resultados
(FAO, 2016c)	<p>Presentar los desafíos para la seguridad alimentaria con un clima cambiante, y la importancia de las medidas de adaptación y mitigación al cambio climático.</p> <p>Recopilación bibliográfica</p>	<p>Estimaciones indican que en el periodo 1980-2008 se dio una caída de la producción mundial de maíz del 3,8% en relación al rendimiento esperado con un clima estable.</p> <p>Los efectos negativos del clima sobre el rendimiento del cultivo de maíz son mayores para las zonas tropicales que para las zonas templadas.</p> <p>Con la mayoría de escenarios climáticos, el rendimiento del cultivo de maíz disminuiría en casi todas las regiones del mundo. Con un escenario de altas emisiones, para el 2100, el rendimiento mundial del maíz variaría de un 20% a 45%. Las crecientes concentraciones de CO<sub>2</sub> podrían tener un impacto sobre la calidad nutricional del cultivo.</p>
(Poudel & Shaw, 2016)	<p>Identificar el impacto de la variabilidad climática sobre el rendimiento de los principales cultivos de Lamjung en Nepal.</p> <p>Modelos multivariable</p>	<p>Se identificó un incremento en las temperaturas de 0,02 °C a 0,07°C por año. Se halló impactos negativos de la precipitación en verano sobre el rendimiento del maíz y la temperatura mínima de verano sobre el rendimiento del trigo, mientras que se presentó un impacto positivo entre la temperatura máxima de verano y el rendimiento de mijo.</p> <p>Para los cultivos de mijo y maíz, la variabilidad climática explica en mayor porcentaje la variabilidad de los rendimientos, con un coeficiente de determinación de 37,2% y 34,7% respectivamente. Mientras que, para los cultivos de trigo, cebada y arroz se obtuvo un bajo efecto del clima sobre la variabilidad de los rendimientos, con coeficientes de determinación de 24,9%, 11%, y 0,78% respectivamente.</p>
(Balaghi, Tychon, Eerens, & Jlibene, 2008)	<p>Crear modelos empíricos para predecir el rendimiento del trigo a nivel provincial y nacional en Marruecos.</p> <p>Modelos multivariable</p>	<p>Las variables analizadas explican altamente la variabilidad del rendimiento pues se obtuvieron coeficientes de determinación (R<sup>2</sup>) entre 72% y 98% para 21 de las 23 provincias de estudio.</p> <p>Se identificó que la variable climática de mayor importancia es la precipitación, y que su impacto es en todos los casos positivo, mientras que la temperatura genera en todos los casos un impacto negativo. Los modelos desarrollados permiten predecir el rendimiento hasta un mes antes de la cosecha, con un error de hasta 0.084 tm/ha.</p>

(Park et al., 2018)	Comparar de métodos para la predicción del rendimiento de maíz en zonas de Korea del Sur Modelos de regresión lineal multivariable y redes neuronales artificiales.	Se identificó que para zonas montañosas el rendimiento del arroz tiene mayor influencia de la temperatura mínima y se ve menos influenciada por la precipitación. Se evaluó el impacto del cambio climático sobre los rendimientos del arroz, para un escenario que logra limitar las emisiones y concentraciones de gases de efecto invernadero, y un escenario con altas emisiones de estos gases. Para el primer escenario la producción disminuiría, mientras que, para el segundo escenario, con mayores temperaturas la producción del cultivo incrementaría.
(Llano & Vargas, 2011)	Estudiar la relación entre el clima y el rendimiento del maíz en localidades de la principal región agrícola de Argentina.  Modelos multivariable	Se realizaron dos modelos, en el primero incluyendo la temperatura y la precipitación y en el segundo incluyendo un término de precipitación al cuadrado. Para el primer modelo, se obtuvo que la variabilidad climática explica la variabilidad del rendimiento del maíz en la zona pampeana, en un 50,6%, 45,3%, 53,6% y 45,3%, para las localidades de Paraná, Rosario, M. Juárez, y Junín respectivamente. En todas las localidades analizadas, el segundo modelo presentó un coeficiente de determinación (R <sup>2</sup> ) mayor.
(SENAMHI, 2012).	Analizar el comportamiento histórico del rendimiento de los cultivos priorizados en las regiones de Cusco y Apurímac, y cuantificar el impacto de la variabilidad climática sobre estos rendimientos.  Modelos lineales multivariable.	En el Distrito de Chumbao, Curahuasi, Marangani, y San Salvador, se obtuvo que la variabilidad del rendimiento de maíz se atribuye a las variables climáticas, en promedio respecto a la campaña agrícola, en 20,8%, 30,7%, 39%, y 21,5% respectivamente. Por otro lado, considerando las variables climáticas a nivel mensual, para el Distrito Curahuasi, Chumbao, San Salvador, y Marangani, se obtuvo que la variabilidad climática explica la variabilidad del rendimiento en 95,9%, 90,8%, 99,7%, y 99,5% respectivamente.  Adicionalmente, se identificó que las variables de precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima, tienen un impacto principalmente en las fases de emergencia, desarrollo vegetativo y floración.
(SENAMHI, 2013)	Estimar la variabilidad de los rendimientos del cultivo de papa y maíz, atribuida a la variabilidad climática en la subcuenca del río Shullcas, Perú.  Encuestas de percepción Modelo multivariable	Según la percepción de los productores los eventos climáticos más frecuentes son las heladas, granizadas, lluvias intensas y sequías. Para la producción de maíz, las granizadas afectan al crecimiento vegetativo y a la floración, mientras que las sequías afectan a la fase de emergencia y floración. Se identificaron medidas de mitigación de los efectos de la variabilidad climática como la aplicación de abonos foliares, construcción de canales de riego complementario, realización de fogatas, y reforestación. Los agricultores indican falta de apoyo institucional frente estos eventos. Se estimó que la variabilidad climática explica en 44,8% y 56,1% la variabilidad del rendimiento de los cultivos de papa y maíz respectivamente. Las variables que impactan sobre el rendimiento son la temperatura durante el periodo reproductivo, y la precipitación en los meses iniciales de manera que un exceso de humedad podría favorecer la aparición de plagas.

(Capa et al., 2014)	<p>Identificar patrones climáticos que afectan a los cultivos de verano en la península Ibérica.</p> <p>Correlación</p>	<p>En el noroeste de la Península Ibérica, en los años de La Niña, es decir cuando existe un enfriamiento del Pacífico ecuatorial, existe un aumento de los rendimientos. Mientras que, en los años de El Niño, con el calentamiento del Pacífico ecuatorial, se da una disminución de los rendimientos.</p> <p>Para explicar los rendimientos se halló como un buen indicador a la temperatura de la superficie del mar del mes de julio en la región El Niño 3, con un coeficiente de correlación de -0,62.</p> <p>En el centro y sureste de la Península Ibérica, se identificó una relación no lineal que mostraba que los bajos rendimientos, a diferencia de la zona noroeste de la Península, están asociados a La Niña. Sin embargo, los altos rendimientos no están asociados con El Niño, y fueron mejor explicados con la Oscilación Decadal de Pacífico.</p>
(Jiménez, Castro, Yépez, & Wittmer, 2012)	<p>Identificar los cantones más vulnerables frente al cambio climático.</p> <p>Cálculo de índice de vulnerabilidad y modelos Ricardianos</p>	<p>Los cantones de mayor vulnerabilidad al cambio climático, según este estudio, serían Guamote, Colta, Pallatanga y Alausí en Chimborazo, Pujilí y Sigchos en Cotopaxi, Guaranda en Bolívar, Tisaleo y Mocha en Tungurahua, Pindal en Loja, y Flavio Alfaro en Manabí.</p> <p>Algo a destacar es que en primera instancia se otorgó la misma importancia a las variables. Sin embargo, por la probabilidad de un sesgo con esta consideración, se repitió el ejercicio otorgando una mayor ponderación a las variables climáticas.</p> <p>Mediante los modelos, se obtuvo el porcentaje de variación de ingresos de finca debido a las variaciones climáticas, y se identificó que, debido a la variación del clima se espera un incremento promedio en los ingresos para cultivos como el cacao y el banano, mientras que se estima una disminución en los ingresos promedios para el fréjol, la papa, el arroz y el maíz.</p> <p>El cultivo de maíz presentaría el mayor impacto negativo, en relación a los otros cultivos, con una disminución de -7.15% en los ingresos de finca, para la década de 2020, con un escenario de emisiones A2, el cual asume un crecimiento constante de la población y un desarrollo económico lento y fragmentado. Finalmente, se presentan algunas medidas de adaptación, recopiladas de experiencias a nivel nacional e internacional.</p>
(Pilco, 2017)	<p>Identificar el impacto del cambio climático en la producción de papa y maíz suave en la comunidad del Pululahua.</p> <p>Técnicas de encuesta, grupo focal y mapeo participativo.</p> <p>Estimaciones climáticas para el 2030, para los</p>	<p>Según la percepción de la población, la precipitación actual es de mayor intensidad que la de hace diez años, y la variación de su frecuencia genera sequías, y en conjunto con las heladas, vientos fuertes y las plagas son los principales problemas para los cultivos. Como resultado de estas amenazas se identificó pérdida de cosechas y menor producción, erosión del suelo, daños en infraestructuras, menores ingresos, problemas de bienestar familiar, desinterés en la actividad agrícola y migración. La capacidad de respuesta es baja debido a la falta de medidas para enfrentar los eventos climáticos adversos y las limitaciones productivas como acceso inexistente para créditos, falta de agua para riego, y desconocimiento sobre seguros agrícolas.</p> <p>Los resultados de estimaciones del clima futuro indicaron, según el modelo Echam4 y para el periodo de 2010-2030, un incremento de temperatura entre 1.14 a 1.26 °C, y de precipitación de 0 a 10%. Mientras, que el modelo HadCM3P para el periodo 2080-2099, estimó un incremento de temperatura entre 2.9 a 4 °C, y una disminución de precipitación entre 0 a 10%. Con los datos</p>

	escenarios A2 y B2 mediante el modelo PRECIS Echam4 y HadcM3P.	climáticos históricos y las estimaciones futuras, el programa CROPWAT dio como resultado que el impacto potencial del cambio climático para el maíz suave, expresado como requerimiento hídrico futuro, sería de 6.1, 48.7 y 9.5 mm para las etapas de desarrollo, etapa media y etapa final respectivamente, presentando un incremento en relación a los requerimientos actuales. Para manejar las posibles consecuencias del clima cambiante, finalmente se proponen medidas de adaptación que consideran el fomento de la equidad de género, manejo ecológico de los suelos, capacitación e implementación de sistemas de cosecha de agua, y selección y uso de variedades de semillas tolerantes a sequía proporcionadas por el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP).
(Rueda et al., 2015)	Generar un modelo de predicción del rendimiento de maíz duro, para las zonas de mayor producción en Los Ríos, Manabí, Guayas y Loja. Modelos multivariable	Se realizó el estudio con el NDVI como variable predictiva, y se obtuvieron coeficientes de determinación de 35%, 43%, 53% y 86%, siendo esta última con la mejor capacidad predictiva, correspondiente a un modelo de regresión polinomial de sexto grado. Se indica que Ecuador carece de modelos de predicción de rendimiento de cultivos, y que comprender e incorporar variables climáticas a modelos de estimación es sumamente importante.
(Zambrano et al., 2015)	Estimar el incremento en el rendimiento de maíz duro requerido para satisfacer la demanda en el año 2050 en Ecuador.  Modelos multivariable	Se asumió que tanto la superficie cosechada como el consumo de maíz duro per cápita se mantendrán estables al 2050. De esta manera, haciendo uso de las proyecciones de población, se estimó el rendimiento que se requeriría para abastecer la demanda del cultivo. Adicionalmente, con los rendimientos promedio de los híbridos del programa de maíz, se proyectaron rendimientos futuros, asumiendo que se mantienen los esfuerzos de mejoramiento. Los resultados presentaron que para el 2030 con 19,814 millones de habitantes, en Ecuador se requeriría un rendimiento promedio nacional de 5,2 tm/ha, y para el 2050 con 23,377 millones de habitantes, se requeriría un incremento del rendimiento a 6,2 tm/ha. Se indica finalmente que con la colaboración del CIMMYT se han establecido metodologías para promover los estudios de diversidad y mejoramiento genético, y prácticas sostenibles para manejar plagas como el gusano cogollero; esto para que los híbridos alcancen, hasta el 2023, rendimientos promedio cercanos a 9 tm/ha.

Elaborado por: Montoya Jacquelin

### 2.2.2 Diagnóstico y hallazgos

Uno de los documentos indispensables para abordar la temática del impacto del clima sobre los rendimientos de cultivos ha sido “El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Cambio climático, Agricultura y Seguridad Alimentaria”, pues recopilando diversos estudios, presenta como panorama general que debido al cambio del clima se ha dado ya una disminución del rendimiento del maíz de 3,8% a nivel mundial, y que con escenarios futuros esta disminución podría ser de 20 a 45% (FAO, 2016c). Se indica también que los efectos negativos son variables, pero que se darán principalmente en las zonas tropicales, y que además de identificar los efectos del clima sobre los rendimientos debe también investigarse como el incremento de las concentraciones de dióxido de carbono en la atmósfera podría perjudicar la calidad nutricional de los alimentos (FAO, 2016c).

Se ha identificado que la metodología más utilizada son los modelos multivariable y que las principales variables explicativas son la precipitación y la temperatura, aunque algunos también consideran el NDVI para a través de la cobertura vegetal durante una fase determinada del ciclo de cultivo, estimar los rendimientos (Balaghi et al., 2008; Rueda et al., 2015). Analizando las etapas de crecimiento, además, se presenta a la floración como la etapa más susceptible a las variaciones del clima (Poudel & Shaw, 2016; SENAMHI, 2013).

Existen estudios para diversos cultivos como el maíz, la papa, el arroz, el trigo, la cebada, el mijo, estos dependiendo siempre de la importancia y el contexto socioeconómico de la zona de estudio, lo cual motiva a continuar este tipo de investigaciones para comprender los patrones con otros cultivos relevantes para la seguridad alimentaria en Ecuador (Balaghi et al., 2013; Poudel & Shaw, 2016; SENAMHI, 2013).

Dentro de las investigaciones realizadas para nuestro país es importante destacar la de Jiménez et al., (2012), la cual identificó los cantones más vulnerables económica, social y climáticamente frente al cambio climático y estimó que el maíz suave sería el cultivo con mayor impacto en los ingresos de la agricultura de subsistencia, con una disminución de 7,15% (Jiménez et al., 2012). Sin embargo, algo para tener en cuenta, es que el modelo se realizó dos veces, la primera

considerando una ponderación igual entre variables, y la segunda considerando una ponderación mayor pero arbitraria para las variables climáticas, mostrando una incertidumbre con respecto a la influencia cuantitativa del clima sobre los cultivos.

Por otro lado, en algunos estudios se evidencia la percepción de la comunidad frente a las variaciones del clima y su impacto negativo en las actividades agrícolas (Pilco, 2017; Poudel & Shaw, 2016; SENAMHI, 2013). Este tipo de estudios deberían también ampliarse en Ecuador, debido a que según la Tercera comunicación nacional son muy escasos y necesarios (MAE, 2017).

Los estudios realizados en Ecuador se enfocan en mejoramiento de las variedades del cultivo, y son muy limitados los enfoques de generación de modelos para predecir los rendimientos comprendiendo la influencia del clima, lo cual limita a su vez la posibilidad de mejorar la productividad (Rueda et al., 2015).

Esta productividad, incluso sin considerar las incertidumbres del cambio climático, y asumiendo patrones de consumo estables, presenta la necesidad de incrementar, por ejemplo, el rendimiento de maíz duro a 5,2 tm/ha para el 2030 y 6,2 tm/ha al 2050, para garantizar la seguridad alimentaria de la población ecuatoriana (Zambrano et al., 2015).

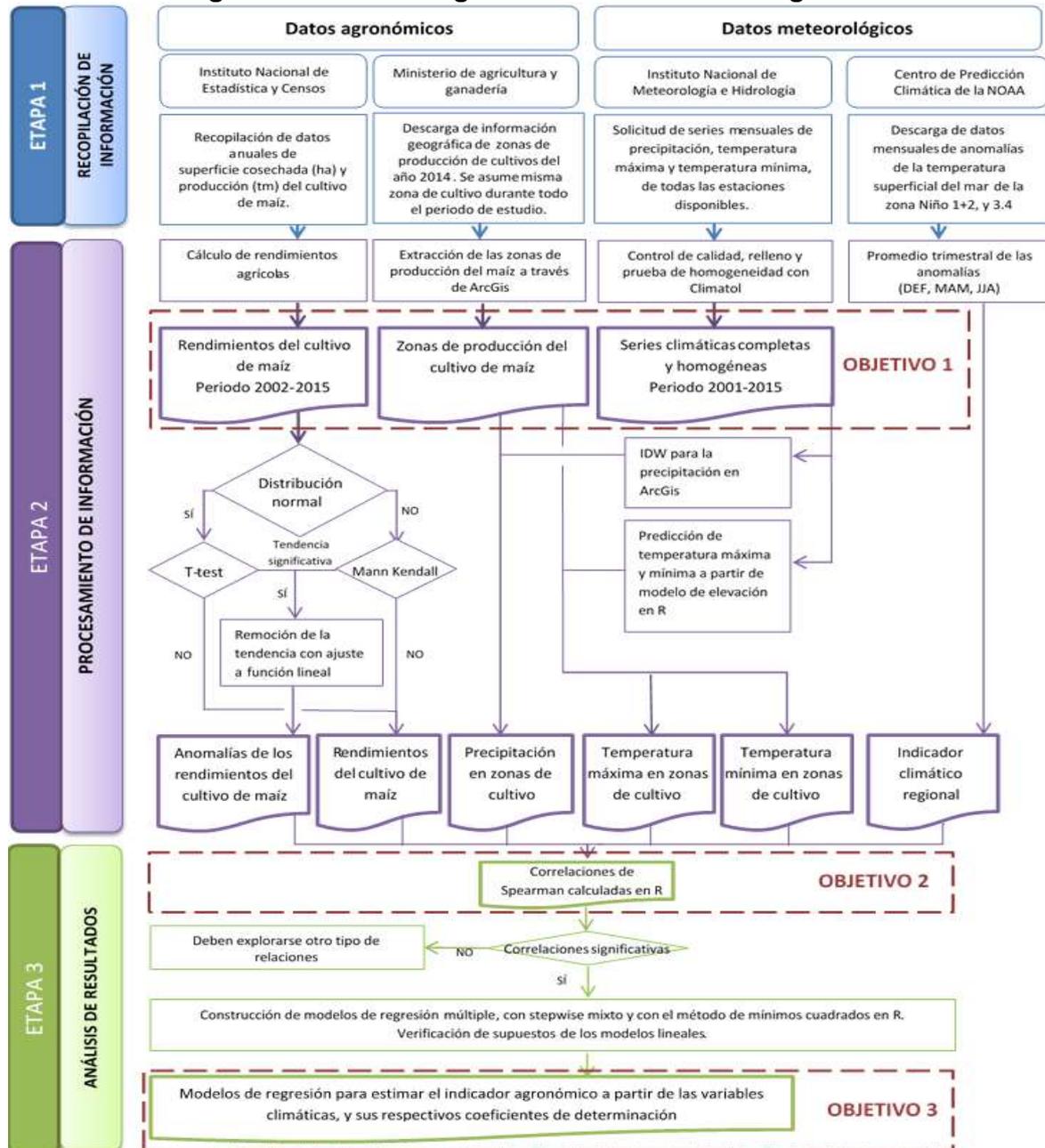
Sin duda la seguridad alimentaria, con un escenario de población creciente, y sumado los desafíos que presenta el cambio climático especialmente para pequeños agricultores son considerados en todos los estudios analizados como el principal objetivo para comprender los patrones del clima y su impacto, y poder de esta manera contribuir con una acertada planificación en el sector agrícola.

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA

Para iniciar esta sección se presenta un breve resumen de todos los procesos realizados, y los cuales se detallará más adelante (Figura 23).

**Figura 23. Metodología utilizada en la investigación**



Elaborado por: Montoya Jacquelin

## 3.1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

### 3.1.1 Datos agrícolas

El Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), es actualmente el encargado del levantamiento de datos y presentación de las estadísticas agropecuarias del país. Por lo tanto, se revisó la información presentada en su portal web y en los anuarios de la biblioteca de la institución, con el fin de recopilar los datos anuales, a nivel provincial, de las variables de producción (tm), y superficie sembrada y cosechada (ha) del cultivo de maíz. Para esto, fue fundamental la identificación de las características de la data agrícola disponible, las mismas que se resumen en la Tabla 6.

Debido a la diferencia de metodologías utilizadas para el levantamiento de datos y por la escasa estandarización de la información, para el presente estudio se consideraron únicamente los datos levantados por la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC), abarcando el periodo 2002-2015, y considerando los tipos de cultivo solo y cultivo asociado, tanto para el maíz suave choclo como para el maíz duro seco, y a los cuales se referirá en adelante únicamente como maíz suave y maíz duro.

Adicionalmente, se sabe que para el maíz duro en la costa se tienen dos ciclos de cultivo, pero al disponer únicamente de indicadores agrícolas anuales, el análisis consideró que el rendimiento del cultivo corresponde al primer ciclo. Esto debido a que las encuestas agrícolas, se realizan durante el último trimestre del año, cuando no ha terminado aún el segundo ciclo de cultivo, y adicionalmente porque de acuerdo a INIAP (2014a), aproximadamente el 90% de la siembra del maíz duro se da en la época lluviosa correspondiente al primer ciclo, con lo cual los datos podrían representar en gran medida el comportamiento del rendimiento en este ciclo.

Una consideración final para el caso del maíz duro, fue que debido a que algunas provincias no existían en parte del periodo de estudio, se reconstruyeron dichas provincias en función a su delimitación histórica para hacer los datos comparables.

TABLA 6: CARACTERÍSTICAS DE LA DATA AGRÍCOLA DEL MAÍZ EN ECUADOR

Año	Documento	Método utilizado	Maíz Duro		Maíz Suave		Datos según el tipo de cultivo (solo o asociado)	
			Choclo	Seco	Choclo	Seco	Se diferencia	No se diferencia
1969-1981	Estimación de la superficie cosechada y de la producción agrícola del Ecuador	Apreciación del personal técnico y datos de fuentes públicas y privadas.	No específica		No específica			
1982	Encuesta de superficie y producción agropecuaria (ESPA)	Muestreo mediante marco de áreas			No específica			
1983								
1984								
1985								
1986-1995								Superficie
1996-1997	Folleto sin nombre	Por obstáculos financieros se estimó los datos a través de regresión lineal y suavizamiento exponencial						
1988-1989	No existe información							
2000	III Censo Nacional Agropecuario	Muestreo mediante marcos múltiples	Los datos de superficies plantadas se presentan a nivel provincial. Sin embargo, los datos de producción se presentan únicamente a nivel nacional.					
2001	No existe información							
2002-2017	Encuesta de superficie y producción agropecuaria continua (ESPAC)	Muestreo mediante marcos múltiples						

Elaborado por: Montoya Jacquelin

Finalmente, para identificar la zona de producción del cultivo, se descargó a través del geoportal del agro ecuatoriano (<http://geoportal.agricultura.gob.ec/>), el archivo “cultivo 2014”, el cual presenta la cobertura de la tierra con los diferentes cultivos en el territorio nacional, entre ellos el cultivo de maíz duro y maíz suave.

Este fue un aspecto limitante para el estudio, pues está información se presentó disponible únicamente para un año dentro del periodo de estudio, y además no cuenta con la especificidad acerca del tipo de cultivo solo o asociado. Sin embargo, se utilizó esta información asumiendo que las superficies de cultivo varían año tras año, en torno a las mismas zonas de producción y que en dichas zonas existe la

probabilidad de hallar tanto el maíz en cultivo solo, como el maíz en cultivo asociado.

### **3.1.2 Datos climáticos**

A través del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), se obtuvieron los registros a nivel mensual de precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima, de las estaciones meteorológicas con información disponible para el periodo de 1982-2015.

Mientras que, los datos de las anomalías de la temperatura superficial del mar fueron descargados del portal de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de los Estados Unidos (NOAA) desde, <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/>.

## **3.2 PROCESAMIENTO DE DATOS**

### **3.2.1 Elaboración de la base de datos agrícolas**

#### **3.2.1.1 Cálculo de los rendimientos del cultivo de maíz**

Se realizaron ficheros con los datos disponibles de producción (tm), superficie sembrada y superficie cosechada (ha) a nivel provincial, para el cultivo de maíz duro y maíz suave; y mediante el cociente entre la producción y la superficie cosechada se obtuvieron los valores de rendimiento (tm/ha). La superficie sembrada puede disminuir directa o indirectamente debido a un evento climático, sin embargo, el rendimiento en la superficie cosechada podría no necesariamente verse afectado, siendo de esta manera la superficie cosechada la variable adecuada para interpretar las variaciones de productividad en función del clima durante el ciclo de cultivo (Iizumi & Ramankutty, 2015).

Las series de rendimientos obtenidos fueron graficados y se presentan en el ANEXO 1 y ANEXO 2 para el maíz suave y maíz duro, respectivamente.

### **3.2.1.2. Análisis exploratorio del rendimiento**

El análisis exploratorio de los datos de rendimiento del cultivo de maíz duro y maíz suave, comprendió un análisis cualitativo y un análisis cuantitativo.

El primer análisis se realizó mediante diagramas de cajas para observar la variabilidad del rendimiento y compararlo entre provincias. Lo cual se presenta posteriormente en la sección de resultados.

El segundo análisis se realizó a través de la prueba de normalidad de Shapiro Wilks, para establecer el tipo de distribución de los datos. De esta característica dependió el análisis posterior. Los resultados de la prueba de normalidad se presentan en el ANEXO 3, para el maíz suave solo, ANEXO 4, para el maíz suave asociado, ANEXO 5, para el maíz duro solo y en el ANEXO 6 para el maíz duro asociado.

### **3.2.1.3. Prueba de significancia de la tendencia**

Como se explicó anteriormente la influencia de factores no climáticos sobre el rendimiento de los cultivos, se presenta como la tendencia en las series de rendimiento y para evaluar el efecto del clima, esta tendencia debe ser removida. Para comprobar la significancia de esta tendencia, se realizaron la prueba T-test y la prueba de Mann Kendall, para aquellas series del rendimiento con distribución normal y no normal, respectivamente, y los resultados se muestran en el ANEXO 7, ANEXO 8, ANEXO 9, y ANEXO 10, para el maíz suave solo, maíz suave asociado, maíz duro solo y maíz duro asociado, respectivamente (Poudel & Shaw, 2016; SENAMHI, 2013).

### **3.2.1.4. Remoción de la tendencia**

Para las series de rendimiento en las cuales se identificó una tendencia significativa, se removió dicha tendencia a través del ajuste de una función lineal, y con los residuos se realizaron los análisis posteriores (Huang et al., 2015; Lobell et al., 2007; SENAMHI, 2013).

Estas series fueron las de rendimiento de maíz suave cultivo solo, de las provincias de Bolívar y Chimborazo, las series de rendimiento de maíz duro cultivo solo de Guayas, Los Ríos, Manabí, Loja, El Oro y Pichincha, y las series de rendimiento de maíz duro cultivo asociado de Guayas, Los Ríos, El Oro y Chimborazo. Para cada

caso, las ecuaciones lineales con las cuales se obtuvieron los residuos y la línea de tendencia, se presentan en las gráficas de las series de rendimiento, ya mencionadas anteriormente, y que corresponden para el maíz suave cultivo solo al ANEXO 1B, ANEXO 1F, para el maíz duro cultivo solo al ANEXO 2A, ANEXO 2B, ANEXO 2C, ANEXO 2D, ANEXO 2E, ANEXO 2N, y para el cultivo maíz duro cultivo asociado al ANEXO 2A, ANEXO 2B, y ANEXO 2L. En el caso del resto de series, que no presentaron tendencia significativa, y no requerían una remoción de la misma, se trabajó con los datos brutos en los análisis posteriores.

### **3.2.2 Elaboración de la base de datos climática**

#### **3.2.2.1 Control de calidad, relleno y prueba de homogeneidad de datos climáticos**

Para el análisis de calidad, relleno y prueba de homogeneidad de los datos climáticos se utilizó el paquete Climatol. A continuación, se describen la selección inicial de estaciones meteorológicas, la preparación de los ficheros, la corrida del análisis exploratorio, la selección de argumentos para la segunda corrida y la selección de las series finales.

- Selección inicial de las estaciones:

Considerando que la metodología de Climatol aprovecha al máximo la información disponible, se seleccionaron las estaciones que contaban con observaciones en al menos diez años en el caso de la precipitación y de cinco años en el caso de la temperatura, para el periodo de 1982 a 2015 (Guijarro, 2018).

- Preparación de ficheros:

Se elaboraron dos ficheros requeridos en formato de texto. El primero con las coordenadas, códigos y nombres de las estaciones; y el segundo con los datos ordenados cronológicamente, con periodos completos utilizando el código NA para los datos faltantes, y con los datos de una estación a continuación de los datos de otra (Guijarro, 2018).

En el caso de la precipitación, se crearon estos dos tipos de ficheros para cada provincia. Sin embargo, para la temperatura mensual máxima y mínima, se optó

por crear los ficheros a nivel de las regiones litoral e interandina; procedimiento tomado de Andrango (2018).

- Análisis exploratorio:

Una vez instalado y activado el paquete Climatol en el entorno de R, se ejecutó la función “homogen”, con el parámetro de exploración como verdadero para realizar un análisis exploratorio de los datos y seleccionar los parámetros adecuados para continuar todo el proceso en una segunda corrida (Gujarro, 2018).

El proceso se detiene cuando no existe al menos un dato por paso temporal, aunque idealmente deberían existir al menos tres datos disponibles, y lo cual se verifica con las gráficas de densidad de datos (Gujarro, 2018).

Este inconveniente se presentó para la provincia de Santa Elena. Para solucionar este inconveniente se añadió a los ficheros, añadió la información de las estaciones M1074 y M1081 de Manabí, y las estaciones M0476, M0175 y M0250 de Guayas, las cuales permitieron que se ejecute con éxito el análisis exploratorio, y el subsecuente paso.

La justificación de los valores asignados a los argumentos, junto con sus definiciones según CRAN.R-project (2018), se presentan en la Tabla 7.

TABLA 7: ARGUMENTOS Y VALORES UTILIZADOS EN CLIMATOL

Argumento y valor	Definición y justificación
<b>std</b>	Corresponde al tipo de normalización aplicada a las series.
std=2 (precipitación)	Según Guijarro (2018), para la precipitación, que es una variable limitada por cero y posee una distribución muy sesgada se utiliza la proporción
std=3 (temperatura)	respecto a la media, mientras que para la temperatura es más adecuada la estandarización.
<b>dz.max</b>	Representa el umbral para identificar anomalías en los datos y se asignó identificando sesgos pronunciados en el histograma de las anomalías normalizadas (Guijarro, 2018).
dz.max $\geq$ 5	El valor por defecto es 5, el cual se utilizó en la mayoría de los casos para mantener la variabilidad de las series originales y adicionalmente debido a que el proceso iterativo convierte algunos valores sospechosos en valores válidos, y con un valor menor a 5 se podría eliminar erróneamente valores correctos (De Luque Söllheim, 2011; Guijarro, 2018).
(precipitación y temperatura)	
<b>shnt1 y shnt2</b>	Corresponden a los valores umbrales para la prueba de homogeneidad SNHT, aplicadas por segmentos y a la serie completa respectivamente.
Valores variados	Los valores se asignaron inspeccionando los histogramas de SNHT máximos, y considerando que para una distribución homogénea las puntuaciones del SNHT se agrupan en torno a un valor máximo de frecuencia, y las series inhomogéneas se presentan como puntuaciones elevadas del SNHT (De Luque Söllheim, 2011; Guijarro, 2018).

---

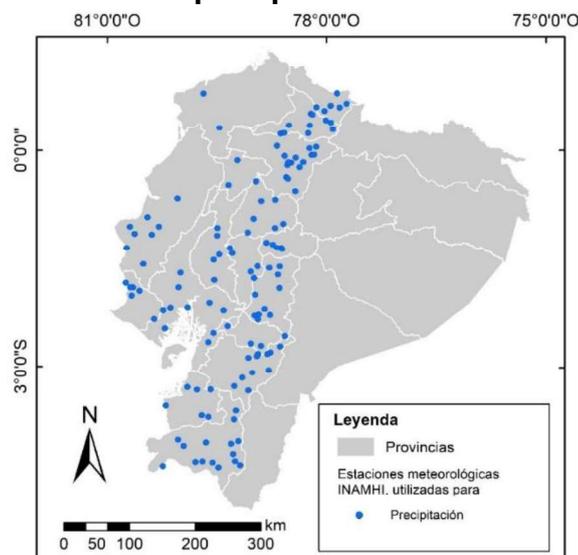
Elaborado por: Montoya Jacquelin

- Selección de las series finales:

Culminado el proceso con Climatol, se seleccionó las series homogéneas, y que originalmente contaban con no menos del 20% de datos ausentes con respecto al periodo 2002-2015, umbral recomendado por la Organización Meteorológica Mundial (como se cita en Andrango, 2018). Con estos criterios, se obtuvieron 127 estaciones para la variable de precipitación, 25 estaciones para la variable de temperatura máxima y 11 estaciones para la variable de temperatura mínima.

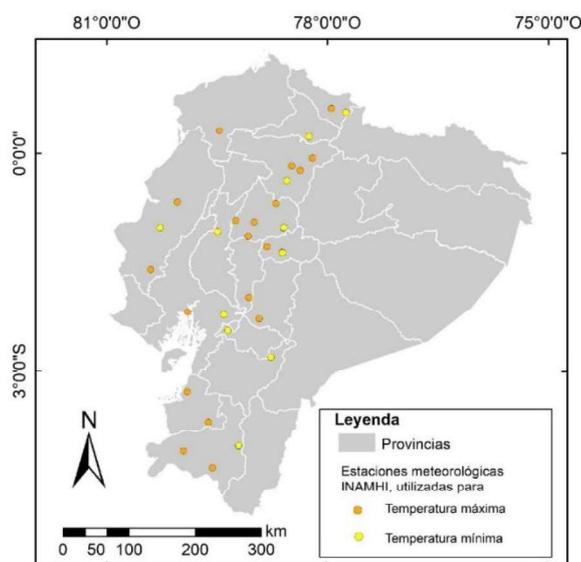
Las estaciones seleccionadas se presentan en la Figura 24 y Figura 25, y mayor información de estas estaciones se presenta en el ANEXO 11, ANEXO 12 y ANEXO 13.

**Figura 24. Estaciones meteorológicas seleccionadas para la variable de precipitación**



Elaborado por: Montoya Jacquelin

**Figura 25. Estaciones meteorológicas seleccionadas para las variables de temperatura máxima y temperatura mínima**



Elaborado por: Montoya Jacquelin

### 3.2.2.2. Cálculo de la precipitación en las zonas de producción

Estudios como el de Yang et al. (2015), indican que la distancia inversa ponderada es un método de interpolación espacial sencillo que genera buenas estimaciones para la variable de precipitación. Así mismo, para las condiciones montañosas de Ecuador continental, Moreano (2008) confirmó la eficiencia de este método para la

precipitación a nivel mensual, sobre otros métodos como el modificado de Shepard y el Kriging Ordinario.

En este estudio se realizó el proceso de interpolación a través de ArcGis, con la herramienta de análisis espacial IDW, y para esto se especificó el tipo de radio, el valor de potencia, la cantidad de observaciones requeridas y el tamaño de celda de salida (ESRI, 2016).

Para el parámetro de radio se utilizó uno variable, pues este es recomendable cuando la densidad de estaciones difiere de un área a otra, como es el caso en Ecuador (Kennedy, 2009). Por otro lado, para seleccionar la potencia y la cantidad de observaciones más adecuada se utilizó la herramienta "Geostatistical Wizard". Esta permitió identificar la potencia optimizada para diferentes números de observaciones y de esta combinación se tomaron los valores que generaron en cada caso la menor raíz del error cuadrático medio, para asegurar un modelo con un mejor ajuste de las estimaciones (Zhu, 2016). En el ANEXO 14 se presentan los parámetros utilizados para las interpolaciones y su respectivo error.

Finalmente, la selección del tamaño de celda adecuado fue primordial, pues la resolución produce diferencias en la data climática y por lo tanto en el comportamiento del modelo de rendimiento de cultivo (Orrego, Ávila, Meza, & Matus, 2014).

Por ejemplo, en el estudio de Orrego et al. (2014) se identificó que incrementar la resolución de la variable climática mejora la simulación del rendimiento del cultivo de trigo, y que la resolución óptima del tamaño de celda climática depende del tipo de topografía; así para zonas con topografía plana podría ser mayor a 25km, mientras que para zonas con topografía compleja sería menor a 7km.

En el trabajo de Hengl (2006), también se destaca la importancia de asignar una resolución adecuada a nuestra información, y a través de criterios empíricos y analíticos concluye que no existe un valor ideal sino un valor en un rango conveniente, coherente con las propiedades de la data de entrada y que depende de los propósitos del estudio. Para el caso de observaciones puntuales con las cuales se requiere estimar valores desconocidos, como el procedimiento de interpolación en el presente estudio, el tamaño de pixel conveniente se podría calcular en base a la densidad de observaciones por unidad de superficie, mediante

la ecuación (5), donde  $A$  es el área de estudio en  $m^2$  y  $N$  es la cantidad de observaciones (Hengl, 2006).

$$p = 0,0791 * A/N \quad (6)$$

Se utilizó la región litoral e interandina como área de interés, y al disponer de registros de precipitación de 127 estaciones meteorológicas, se obtuvo el valor de 2535,2 metros como tamaño de píxel recomendado. Este valor es bastante cercano a la resolución recomendada para estimaciones climáticas en la planificación agrícola, la cual es de 2000 metros y que en una última instancia se tomó (Yang et al., 2015).

Una vez creados los rásters de precipitación, mediante IDW, para cada mes del periodo de estudio, se extrajo de cada uno de estos rásters, un valor promedio de la precipitación para la zona de producción del cultivo de maíz de cada provincia, a través de la información geográfica del cultivo descrita en la sección 3.1.1. y con la herramienta “Zonal statistics as table” de ArcGis.

### **3.2.2.3. Cálculo de la temperatura máxima y mínima en las zonas de producción**

Debido a la escasa disponibilidad de información de temperatura, y considerando que esta variable está fuertemente correlacionada a la altitud, se realizaron modelos lineales entre la altitud de las estaciones y sus registros mensuales de temperatura, para luego estimar esta variable climática con los datos de un modelo de elevación digital, dando como resultado rásters de temperatura máxima y mínima mensual al igual que en el caso de la precipitación (Gómez et al., 2008). Luego, de estos rásters se realizó la extracción del promedio de los valores de temperatura en las zonas de cultivo de cada provincia, con la información geográfica del cultivo.

Las actividades de esta sección, a diferencia de la sección del cálculo de precipitación, no se realizó en ArcGis, sino en el software R, con el paquete ráster, y a través de las funciones “predict” y “extract” (Hijmans et al., 2019).

#### **3.2.2.4. Cálculo del indicador climático regional**

Se promediaron las anomalías de la temperatura de la superficie del mar cada tres meses dando como resultado el promedio de las anomalías para septiembre, octubre y noviembre (SON), diciembre, enero y febrero (DEF), marzo, abril y mayo (MAM), junio, julio y agosto (JJA).

Para el caso del maíz que se produce en la región litoral, se utilizaron las anomalías de la zona Niño1+2, mientras que, para el maíz de la región andina, se utilizaron las anomalías de la zona Niño 3.4. El primer bloque de El Niño utilizado por tener cercanía a la región, y el segundo bloque utilizado porque en estudios anteriores se han demostrado mejores correlaciones entre este y la precipitación de la región Andina (MAE, 2017; Villacís et al., 2003).

### **3.3 DETERMINACIÓN DE CORRELACIONES**

A través del software estadístico R, se calcularon los coeficientes de correlación de Spearman, entre las variables climáticas calculadas en secciones anteriores y el rendimiento del cultivo de maíz o los residuos del rendimiento, para las series con tendencia no significativa y significativa respectivamente. Para todos los tipos de maíz analizados, se consideraron las variables climáticas desde el mes de agosto del año inicial de la campaña agrícola hasta el mes de junio del año final de la campaña agrícola, lo que corresponde para este estudio el periodo desde agosto del 2001 hasta junio del 2015 (INIAP, 2014b, 2014a; Yáñez et al., 2013). Esto debido a que se requería considerar aproximadamente los meses antes de la siembra hasta la época de cosecha (Balaghi et al., 2008; Milošević et al., 2015; SENAMHI, 2013).

Las matrices de correlación completas para precipitación se presentan en el ANEXO 15, ANEXO 16, ANEXO 17 y ANEXO 18, para temperatura máxima en el ANEXO 19, ANEXO 20, ANEXO 21 y ANEXO 22 para temperatura mínima en el ANEXO 23, ANEXO 24, ANEXO 25, y ANEXO 26 y para las anomalías de la temperatura del mar en el ANEXO 27, ANEXO 28, ANEXO 29, y ANEXO 30.

### **3.4 CONSTRUCCIÓN DE LOS MODELOS DE REGRESIÓN PARA EL RENDIMIENTO EN FUNCIÓN DE LAS VARIABLES CLIMÁTICAS**

Las variables mensuales de precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima que presentaron correlaciones significativas con el rendimiento fueron estandarizadas, y utilizadas posteriormente para generar los modelos de regresión (Amat, 2016b; Chabala et al., 2015; Chmielewski & Potts, 1995; Haji, 2013). La construcción de los modelos se realizó con el método de mínimos cuadrados ordinarios, a través del paquete “olsrr”. En este, para seleccionar las variables se utilizó el método de paso a paso (stepwise) mixto, que introduce y elimina variables predictoras hasta definir las que generan una mejor contribución al modelo (Amat, 2016a; Hebbali, 2018). Para comprobar las condiciones de los modelos lineales se utilizó también el paquete “olsrr” (Hebbali, 2018). Con las anomalías de la temperatura del mar no se realizaron modelos, pues se obtuvieron pocas correlaciones. Por lo tanto, estas correlaciones se utilizaron únicamente para definir posibles indicadores que expliquen el rendimiento del cultivo, como se lo hace en estudios similares (Capa et al., 2014).

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 SITUACIÓN DE LOS INDICADORES AGRÍCOLAS DEL CULTIVO DE MAÍZ, PERIODO 2002-2015

##### 4.1.1 Caracterización de la producción y el rendimiento del cultivo de maíz suave

La producción es un indicador bastante utilizado para caracterizar al sector agrícola en nuestro país, acompañado con las estadísticas de superficies sembrada y cosechada. Sin embargo, a esta difusión de información debería añadirse también el rendimiento del cultivo. De esta manera, se podrá identificar fácilmente si la producción cuenta con un eficiente uso de la tierra, reflejado con buenos rendimientos, o caso contrario esa producción es el resultado de extensas tierras utilizadas (FAO, 2016a; Rusinamhodzi et al., 2011). Por esta razón, aunque los objetivos de este estudio se centran en el indicador agrícola del rendimiento del cultivo de maíz, se consideró relevante añadir también un análisis de la producción.

A través de los diagramas de cajas, se identificó que durante el periodo 2002-2015, la producción de maíz suave choclo cultivo solo, fue predominante en las provincias de Bolívar, Tungurahua, Chimborazo e Imbabura, de las cuales el 50% de los datos de su producción estuvieron por encima de 10.091, 9.053, 5.546, y 4.921 toneladas respectivamente (Figura 26A).

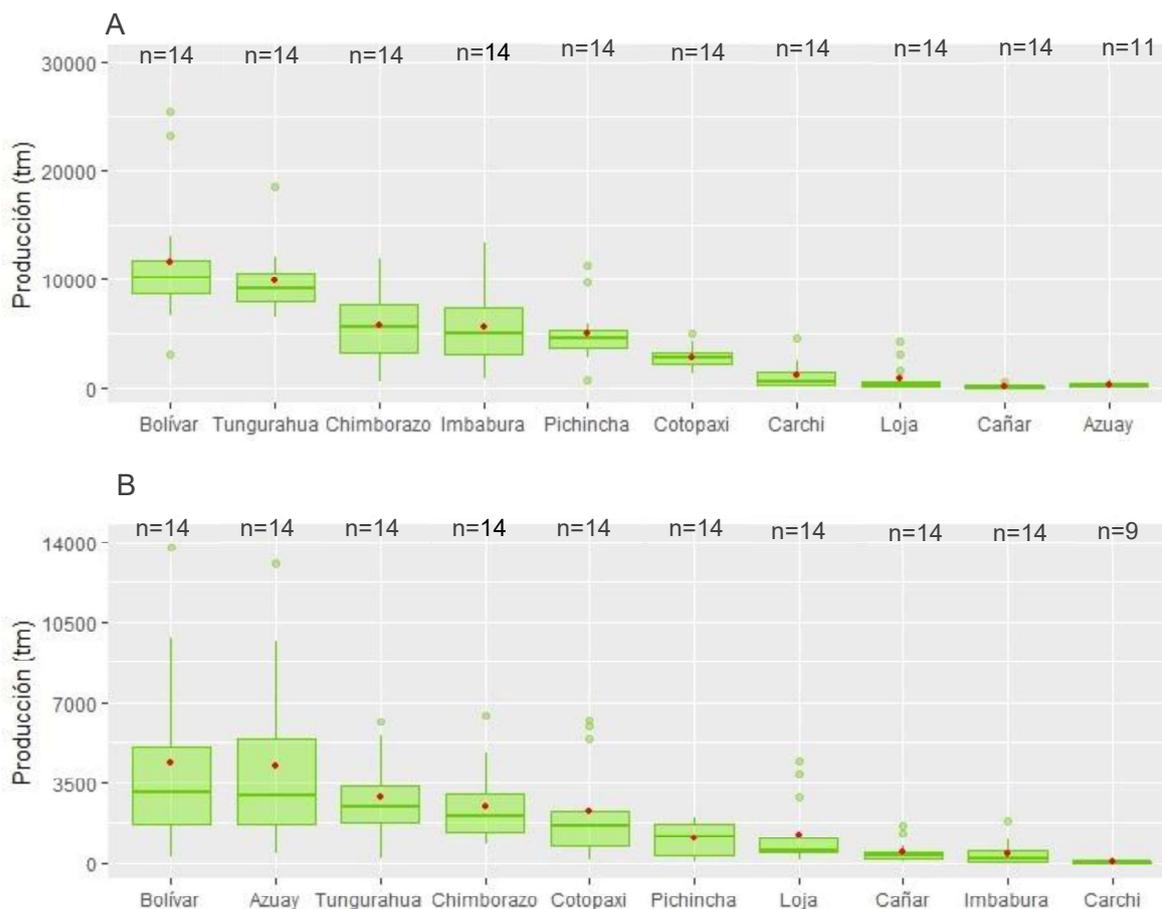
Por otro lado, para el maíz suave cultivo asociado, las provincias de importante producción durante el periodo analizado, fueron Bolívar, Azuay, Tungurahua y Chimborazo, de las cuales el 50% de los datos de producción en toneladas se encuentran sobre 3.093, 2.904, 2.482, y 2.022 respectivamente (Figura 26B).

Por lo tanto, para el maíz suave en choclo, tanto para el cultivo solo como para el cultivo asociado se identificó que la producción, durante el periodo de estudio, se concentra en provincias de la sierra central, con excepción de Imbabura para el cultivo solo y Azuay para el cultivo asociado.

Adicionalmente, se identificó que la mayor variabilidad de producción, para el maíz suave cultivo solo, se da en Imbabura y Chimborazo, y para el maíz suave cultivo asociado, en Azuay y Bolívar.

**Figura 26. Gráfica de cajas para la producción del maíz suave, periodo 2002-2015**

**A) Cultivo solo y B) Cultivo asociado**



Fuente: INEC, 2018

Elaborado por: Montoya Jacquelin

En cuanto a los rendimientos, los mejores para el maíz suave cultivo solo, se identificaron en las provincias de Tungurahua, Imbabura, Pichincha y Bolívar, con 50% de los datos por encima de 3,24, 2,87, 2,25, y 2,19 tm/ha, respectivamente (Figura 27A).

Para el maíz suave cultivo asociado, se identificaron los mejores rendimientos en Tungurahua, Pichincha, Bolívar y Chimborazo, con el 50% de valores por encima de 2,47, 1,53, 1,37, y 0,96 respectivamente (Figura 27B). En este caso se considera

a Chimborazo y no a la provincia de Carchi, debido a su limitada disponibilidad de información, lo cual podría ocultar su verdadero comportamiento.

Adicionalmente, el maíz suave presenta mayor variabilidad de rendimientos en Carchi y Chimborazo para el cultivo solo, y en Imbabura y Pichincha para el cultivo asociado.

**Figura 27. Gráfica de cajas para el rendimiento del maíz suave, periodo 2002-2015 A) Cultivo solo y B) Cultivo asociado**



Fuente: INEC, 2018

Elaborado por: Montoya Jacquelin

#### 4.1.2 Caracterización de la producción y el rendimiento del cultivo de maíz duro

En el caso del maíz duro, tanto para el cultivo solo como para el cultivo asociado, se presenta la mayor producción en las provincias de Los Ríos, Guayas, Manabí y

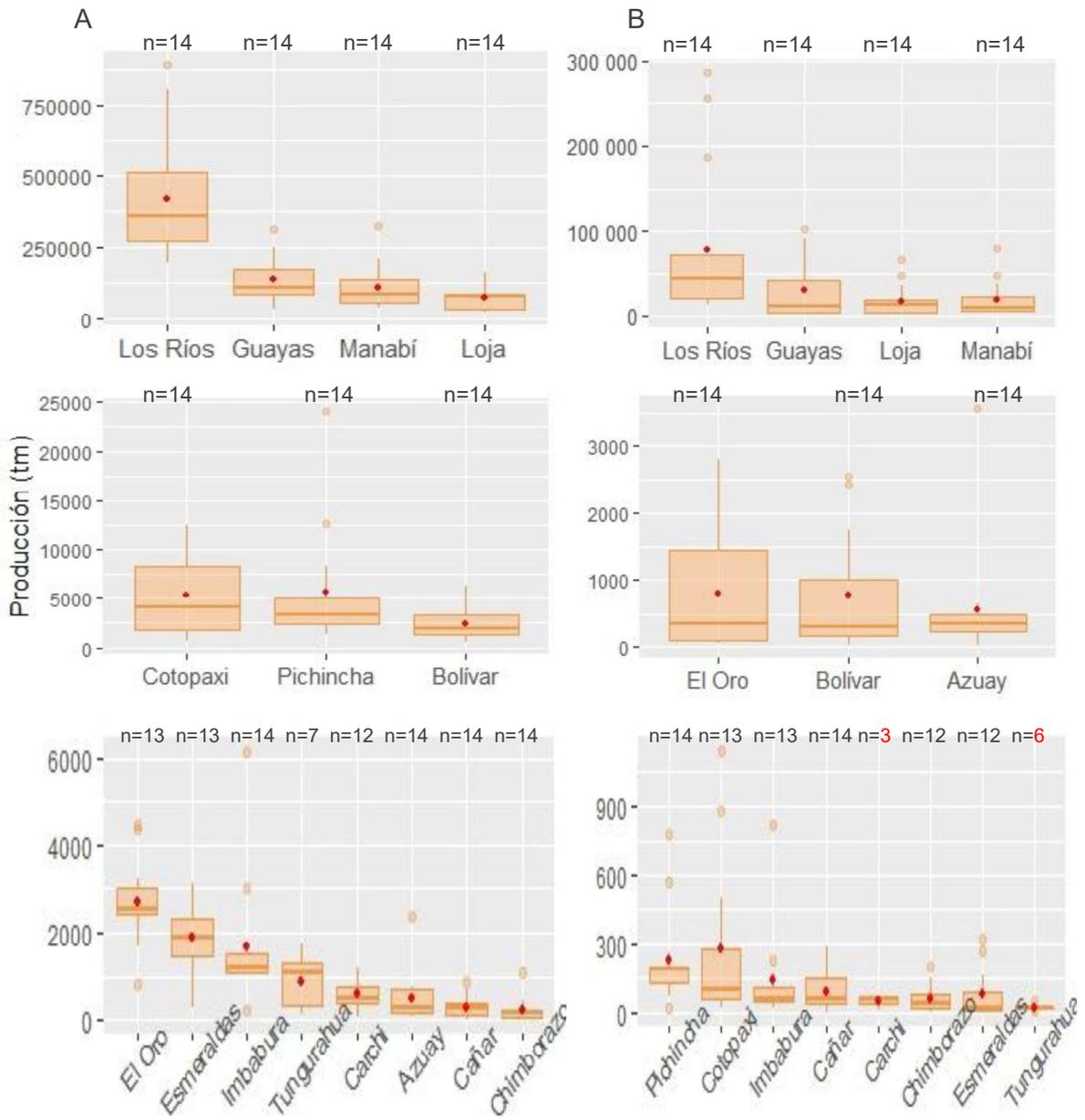
Loja, lo que concuerda con lo indicado en la literatura de INIAP (2014a), Rueda et al. (2015), MAGAP (2015a), entre otros. Para el maíz duro cultivo solo, el 50% de los datos superan las 357.218, 108.817, 87.973 y 80.578 toneladas en Los Ríos, Guayas, Manabí y Loja respectivamente (Figura 28A), y para el cultivo asociado, el 50% de los datos supera las 43.595, 10.274, 12.252 y 8.953 toneladas en Los Ríos, Guayas, Loja y Manabí (Figura 28B).

Debido a que la producción para estas provincias es demasiado elevada, al graficarlas con el resto de provincias productoras, el comportamiento de estas otras es imperceptible. Por lo tanto, con el fin de presentar la variabilidad de la producción del maíz duro tanto en cultivo solo como asociado, se agruparon las provincias de acuerdo a tres niveles de producción. Con estos grupos, se identifica una gran variabilidad de producción en Los Ríos, Cotopaxi, y Esmeraldas para el cultivo solo; y en Los Ríos, El Oro y Cotopaxi para el cultivo asociado.

Finalmente, con respecto a los rendimientos, se presentan los mayores valores para el maíz duro cultivo solo, en Los Ríos, Guayas, Tungurahua y Loja, con el 50% de datos superando las 3,82, 2,75, 2,73, y 2,32 tm/ha respectivamente; y presentando la mayor variabilidad del rendimiento en las provincias de Cotopaxi y Carchi, (Figura 29A). En este caso no se considera a Tungurahua por el limitado número de observaciones.

Mientras que, para el cultivo de maíz duro asociado, se presentan los rendimientos más altos en Los Ríos, Guayas, Manabí y Loja, con el 50% de valores por encima de 3,67, 2,59, 1,84, y 1,25 tm/ha respectivamente, y con la mayor variabilidad en las provincias de Los Ríos y El Oro (Figura 29B).

**Figura 28. Gráfica de cajas para la producción de maíz duro, periodo 2002-2015**  
**A) Cultivo solo y B) Cultivo asociado**

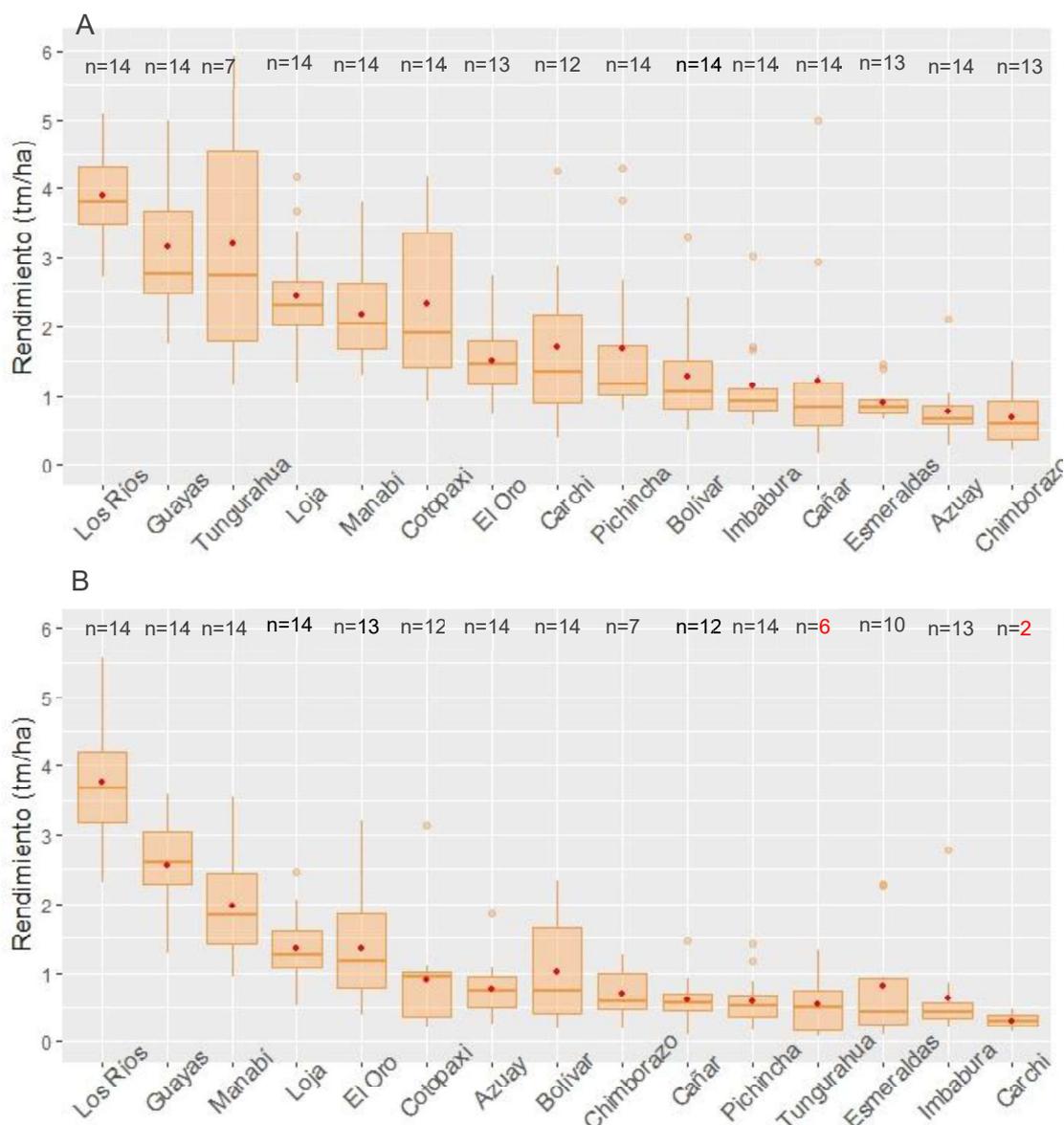


Fuente: INEC, 2018

Elaborado por: Montoya Jacquelin

**Figura 29. Gráfica de cajas para el rendimiento del cultivo de maíz duro, periodo 2002-2015**

**A) Cultivo solo y B) Cultivo Asociado**



Fuente: INEC, 2018

Elaborado por: Montoya Jacquelin

#### 4.1.3 Análisis del rango productivo para el cultivo de maíz suave

Una vez caracterizados los datos de producción y rendimiento, se tomó los valores de la mediana tanto de producción como de rendimiento para contrastar de manera fácil estos indicadores, para aquellas provincias que contaban con más del 50% de datos durante el periodo de estudio para el maíz suave cultivo solo Tabla 8, y cultivo

asociado Tabla 9. Esto, para darle un sentido cualitativo a los resultados, comparándolos con los rangos de productividad para el maíz suave y el maíz duro establecidos por INIAP (2015).

Para el maíz suave cultivo solo, en las provincias de Bolívar, Chimborazo y Cotopaxi, podrían existir dificultades productivas, pues se evidencian rendimientos bajos en relación a su aporte de producción con otras provincias. Las provincias de Cotopaxi, Loja, Azuay y Cañar requerirían acompañamiento técnico o estudios para mejorar sus rendimientos pues se ubicaron en el rango de baja productividad (Figura 30A).

Para el maíz suave cultivo asociado, nuevamente Bolívar, Chimborazo y Cotopaxi presentan altas producciones, pero con bajos rendimientos en comparación a los rendimientos obtenidos en provincias con niveles de producción similares, evidenciando una problemática con la productividad. Además, un hallazgo importante es que la provincia de Azuay presentó una de las mayores producciones, pero también se ubicó entre las provincias con más bajos rendimientos (Figura 30B). Para el maíz suave cultivo asociado, se evidencia un panorama menos alentador que para el maíz suave cultivo solo, pues de las provincias analizadas únicamente Tungurahua, se encuentra en el rango de productividad medio, mientras el resto se encuentra en el rango de productividad bajo.

**TABLA 8: PRODUCCIÓN, RENDIMIENTO Y RANGO DE PRODUCTIVIDAD DEL MAÍZ SUAVE CULTIVO SOLO**

<b>Provincia</b>	<b>Producción (tm)</b>	<b>Rendimiento (tm/ha)</b>	<b>Rango de productividad (tm/ha)</b>
Tungurahua	9053	3,24	Medio 1,61 - 3,5
Imbabura	4921	2,87	
Pichincha	4679	2,25	
Bolívar	10091	2,19	
Chimborazo	5546	2,02	
Carchi	579	1,78	
Cotopaxi	2748	1,45	Bajo < 1,61
Loja	197	1,18	
Azuay	121	1,02	
Cañar	88	0,87	

Elaborado por: Montoya Jacquelin

TABLA 9: PRODUCCIÓN, RENDIMIENTO Y RANGO DE PRODUCTIVIDAD DEL MAÍZ SUAVE CULTIVO ASOCIADO

Provincia	Producción (tm)	Rendimiento (tm/ha)	Rango de productividad (tm/ha)
Tungurahua	2482	2,47	Medio 1,61 - 3,5
Pichincha	1141	1,53	Bajo < 1,61
Bolívar	3093	1,37	
Chimborazo	2022	0,96	
Imbabura	210	0,86	
Cañar	359	0,61	
Cotopaxi	1664	0,33	
Azuay	2904	0,32	
Loja	507	0,25	

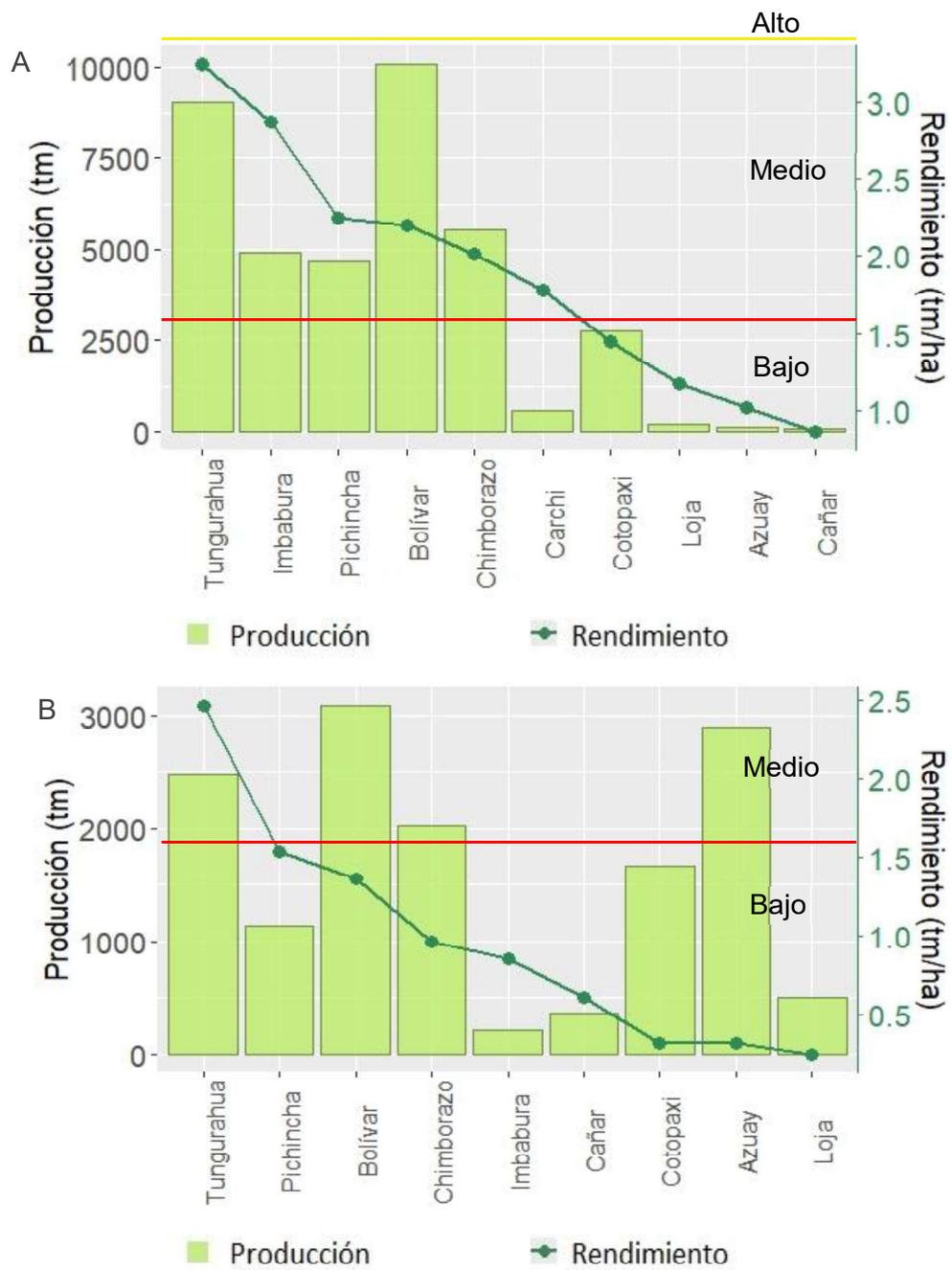
Elaborado por: Montoya Jacquelin

**Notas:**

Carchi no se consideró en el caso de maíz suave cultivo asociado, por su limitada disponibilidad de datos de rendimiento.

Los rangos de productividad presentados por INIAP (2015), son para el maíz suave en general. Sin embargo, estos han sido considerados para caracterizar tanto el cultivo solo como el cultivo asociado.

**Figura 30. Producción, rendimiento y rango de productividad del maíz suave**  
**A) Cultivo solo y B) Cultivo asociado**



Elaborado por: Montoya Jacquelin

#### 4.1.4 Análisis del rango productivo para el cultivo de maíz duro

En esta sección se procedió como en la explicada anteriormente. Los valores de la mediana de la producción y el rendimiento para el maíz duro cultivo solo y cultivo asociado, se presentan en la Tabla 10 y Tabla 11, respectivamente.

Para el caso del maíz duro, cultivo solo, únicamente la provincia de Los Ríos se encuentra en un rango de productividad medio, y el resto de provincias se encuentra en un rango bajo es decir con rendimientos menores a 3,18 tm/ha. Mientras que, para todas las provincias analizadas, el maíz duro cultivo asociado se encuentran en rango bajo de productividad.

**TABLA 10: PRODUCCIÓN, RENDIMIENTO Y RANGO DE PRODUCTIVIDAD DEL MAÍZ DURO CULTIVO SOLO**

<b>Provincia</b>	<b>Producción (tm)</b>	<b>Rendimiento (tm/ha)</b>	<b>Rango de productividad (tm/ha)</b>
Los Ríos	357218	3,82	Medio 3,18-4,54
Guayas	108817	2,75	Bajo <3,18
Tungurahua	1060	2,73	
Loja	80578	2,32	
Manabí	87973	2,05	
Cotopaxi	4174	1,90	
El Oro	2513	1,46	
Carchi	513	1,35	
Pichincha	3348	1,17	
Bolívar	1911	1,05	
Imbabura	1204	0,92	
Cañar	262	0,85	
Esmeraldas	1885	0,84	
Azuay	275	0,65	
Chimborazo	155	0,58	

Elaborado por: Montoya Jacquelin

TABLA 11: PRODUCCIÓN, RENDIMIENTO Y RANGO DE PRODUCTIVIDAD DEL MAÍZ DURO CULTIVO ASOCIADO

Provincia	Producción (tm)	Rendimiento (tm/ha)	Rango de productividad (tm/ha)
Los Ríos	43595	3,67	Bajo <3,18
Guayas	10274	2,59	
Manabí	8953	1,84	
Loja	12252	1,25	
El Oro	347	1,16	
Cotopaxi	100	0,94	
Azuay	349	0,75	
Bolívar	320	0,74	
Chimborazo	41	0,59	
Cañar	61	0,56	
Pichincha	191	0,52	
Esmeraldas	24	0,43	
Imbabura	62	0,43	

Elaborado por: Montoya Jacquelin

**Notas:**

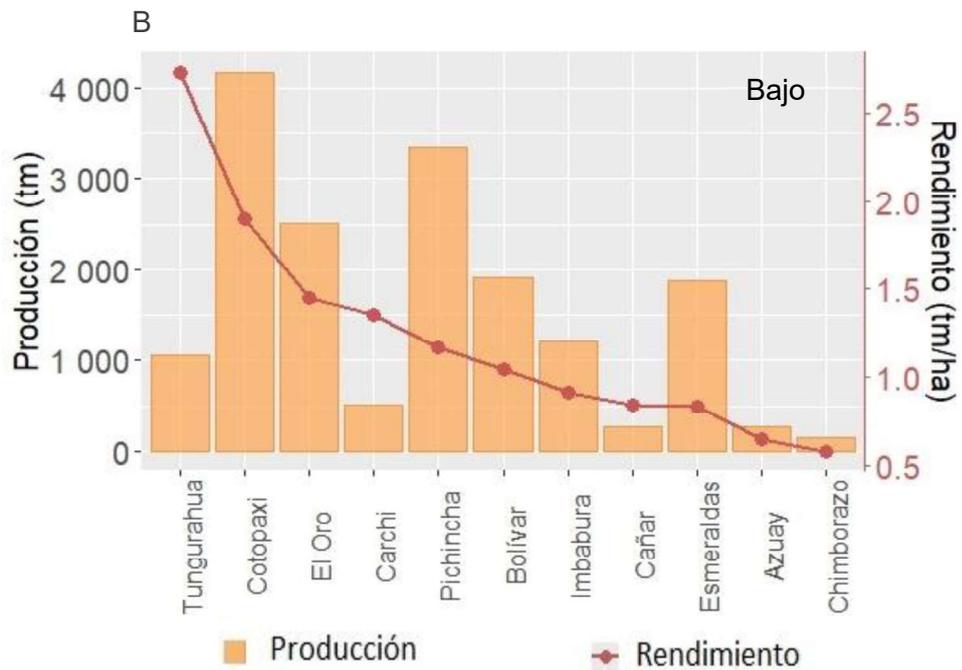
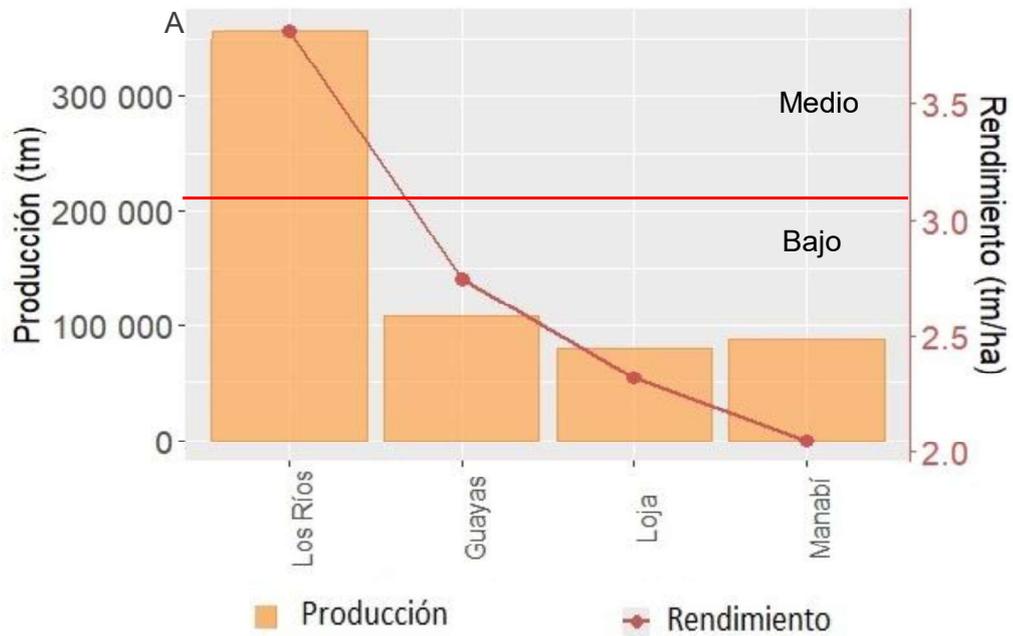
Carchi y Tungurahua no se consideraron para el caso de maíz duro cultivo asociado, por su limitada disponibilidad de datos de rendimiento

Los rangos de productividad presentados por INIAP (2015), son para el maíz duro en general. Sin embargo, estos han sido considerados para caracterizar tanto el cultivo solo como el cultivo asociado.

Entre las provincias de mayor producción de maíz duro cultivo solo, Manabí es la provincia que presenta mayores inconvenientes de productividad, pues supera la producción de Loja, pero posee un rendimiento inferior (Figura 31A). Esta situación de problemas con la productividad, para el resto de provincias se evidencia de manera importante en Cotopaxi, Pichincha, y Esmeraldas, (Figura 31B). En el caso del maíz duro, cultivo asociado, es Loja la provincia que presenta inconvenientes de productividad superando esta vez la producción de Manabí y obteniendo menores rendimientos, (Figura 32A). En el resto de provincias la situación se da en las provincias de Azuay, Bolívar y Pichincha (Figura 32B).

**Figura 31. Producción, rendimiento y rango de productividad del maíz duro cultivo solo**

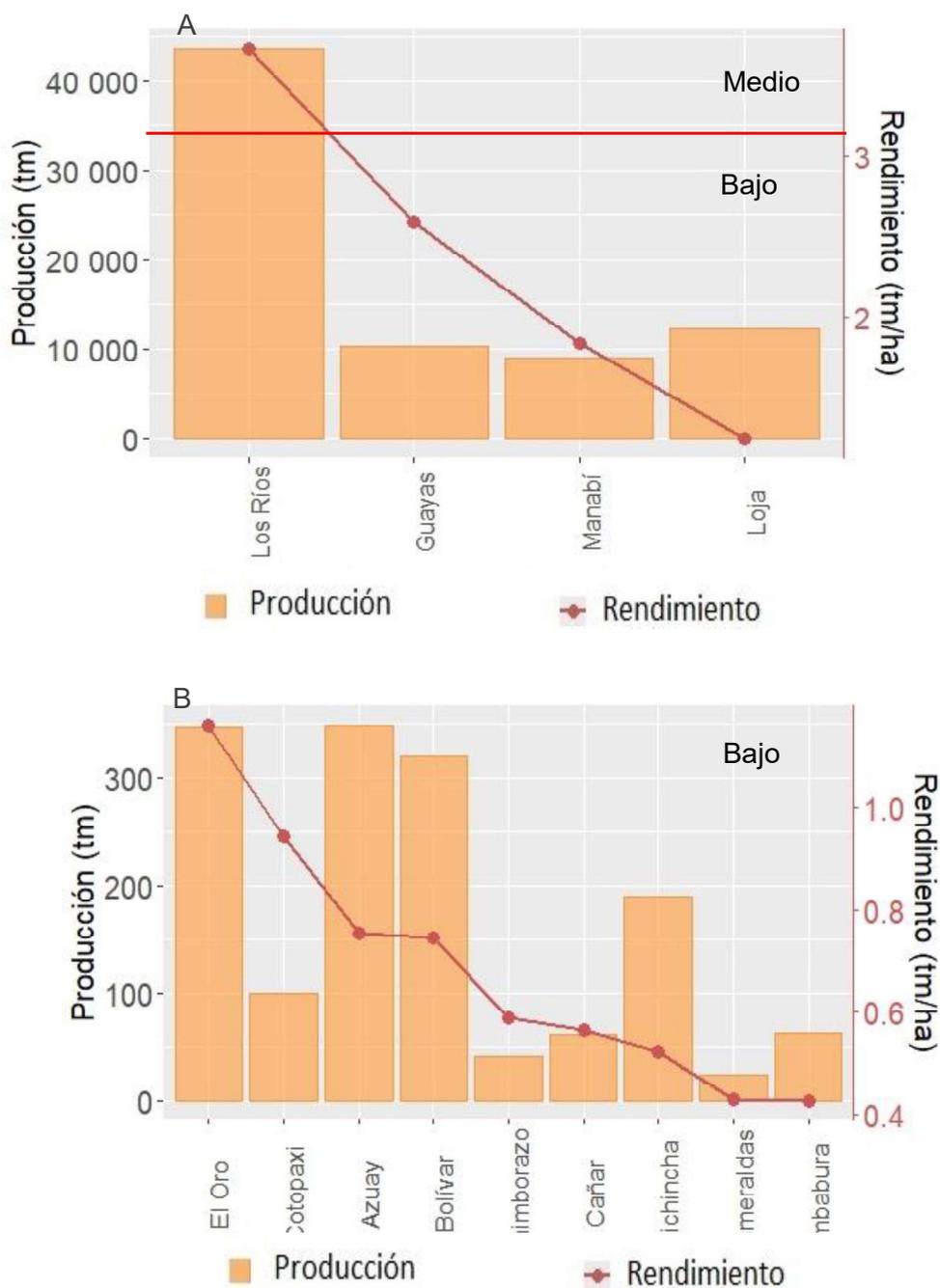
**A) Provincias de mayor producción y B) Resto de provincias**



Elaborado por: Montoya Jacquelin

**Figura 32. Producción, rendimiento y rango de productividad del maíz duro cultivo asociado**

**A) Provincias de mayor producción y B) Resto de provincias**

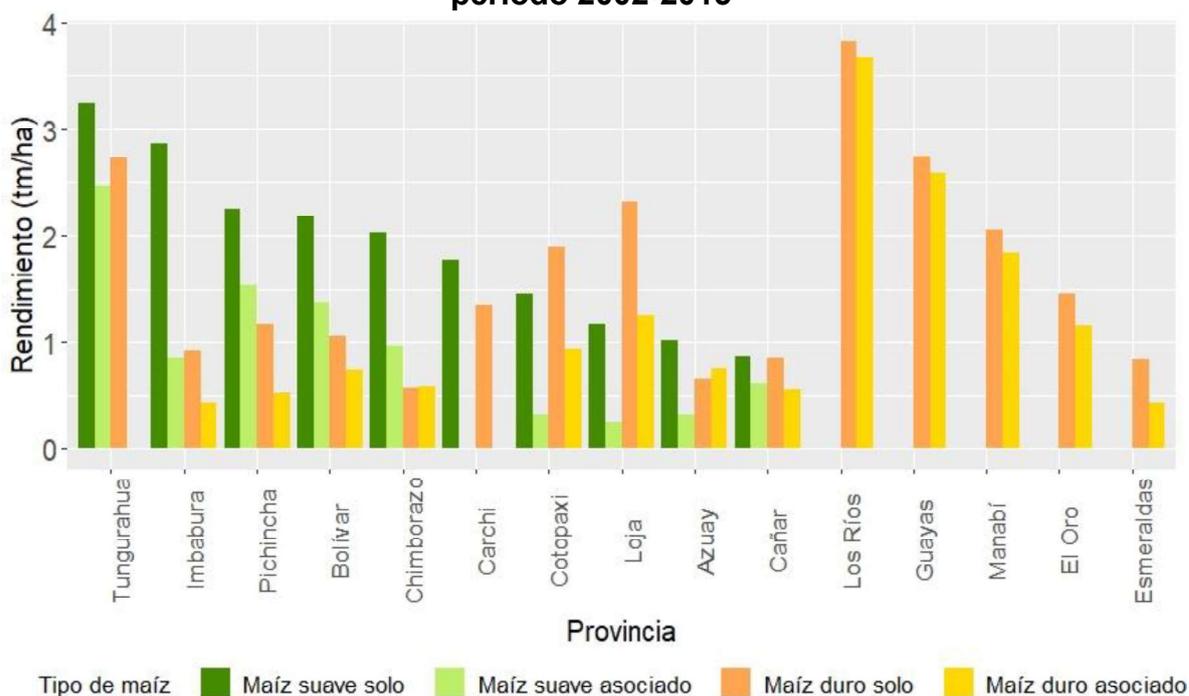


Elaborado por: Montoya Jacquelin

#### 4.1.5 Comparación de los rendimientos

Para finalizar esta sección, se comparó el valor de la mediana del rendimiento, por región, tipo de maíz y tipo de cultivo, (Figura 33). En cuanto al rendimiento por región del país se observa que, los rendimientos más bajos se presentan en las provincias de la sierra, principalmente en Azuay y Cañar, en donde para todos los casos se presentan rendimientos por debajo de 1 tm/ha aproximadamente. Otro criterio con el cual podemos comparar los rendimientos del cultivo es el tipo de maíz, para el cual se evidencia que el maíz duro alcanza mayores valores. Por último, en cuanto al tipo de cultivo, se evidencia que, para ambos tipos de maíz, suave y duro, los rendimientos son más bajos para los cultivos asociados que para los cultivos solos; y además esta situación es más notable para el maíz suave.

**Figura 33. Comparación de rendimientos por tipos de maíz y tipo de cultivo, periodo 2002-2015**



Elaborado por: Montoya Jacquelin

## **4.2 ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LAS VARIABLES CLIMÁTICAS SOBRE EL RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE MAÍZ**

Los resultados que se presentan y discuten a continuación, son aquellos que han obtenido p-valores menores a 0,05 y por lo tanto, son correlaciones significativas estadísticamente (Peprah, 2014). Adicionalmente, estas correlaciones halladas entre el rendimiento del cultivo de maíz y las variables climáticas son fuertes; considerando que Peprah (2014), para un estudio similar sugiere e interpreta un coeficiente de correlación de 0,435 como una relación fuerte, y en este estudio se obtuvieron coeficientes de correlación iguales o superiores a 0,54.

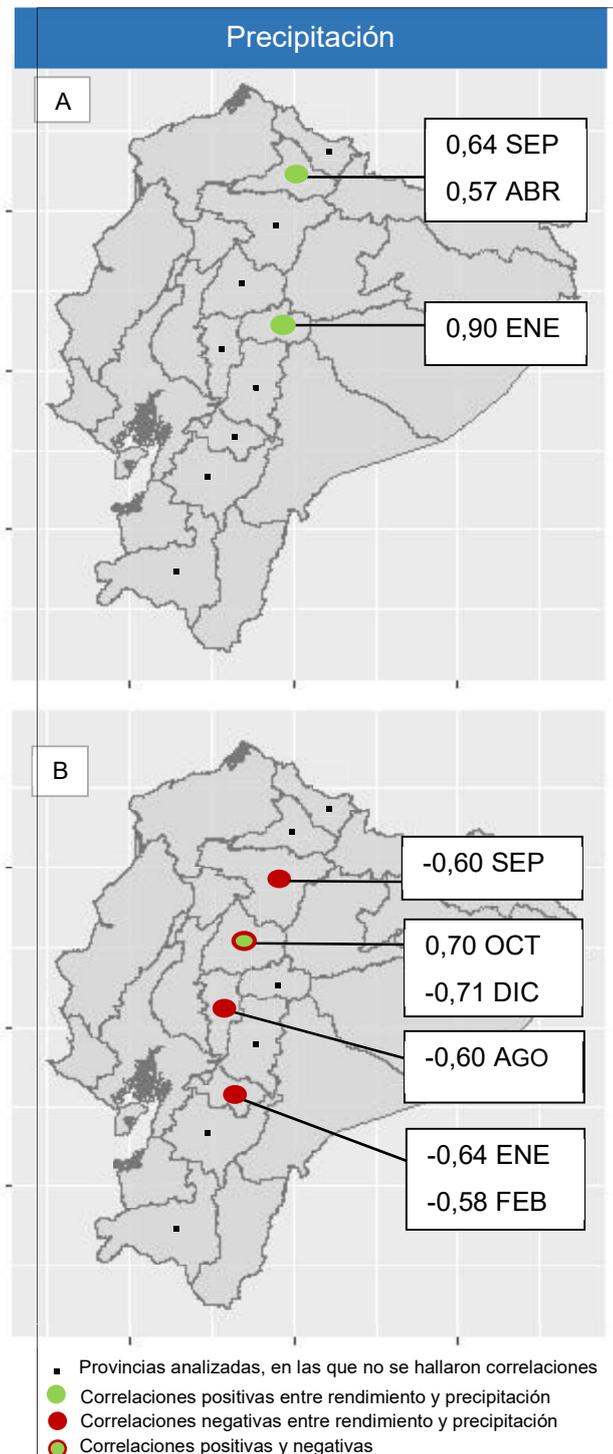
Un aspecto a considerar en cuanto a los diagramas del comportamiento climático es que se presentarán diferenciados únicamente por tipo de maíz (suave y duro) y no por tipo de cultivo (solo y asociado). Esto debido a que en las respectivas zonas de cultivo únicamente se diferencia por tipo de maíz y no por tipo de cultivo, lo cual se explicó en el apartado de metodología.

### **4.2.1 Precipitación**

Estudios han demostrado generalmente la existencia de fuertes correlaciones positivas entre el rendimiento del maíz con la precipitación mensual (Drewniak et al., 2013). En este trabajo, para el cultivo solo, se obtuvieron correlaciones positivas entre la precipitación y el rendimiento tanto del maíz suave como del maíz duro, Figura 34A y Figura 34A. Presentándose una única excepción de este comportamiento en la provincia de Manabí, donde se halló una correlación negativa entre la precipitación de enero y el rendimiento del maíz duro.

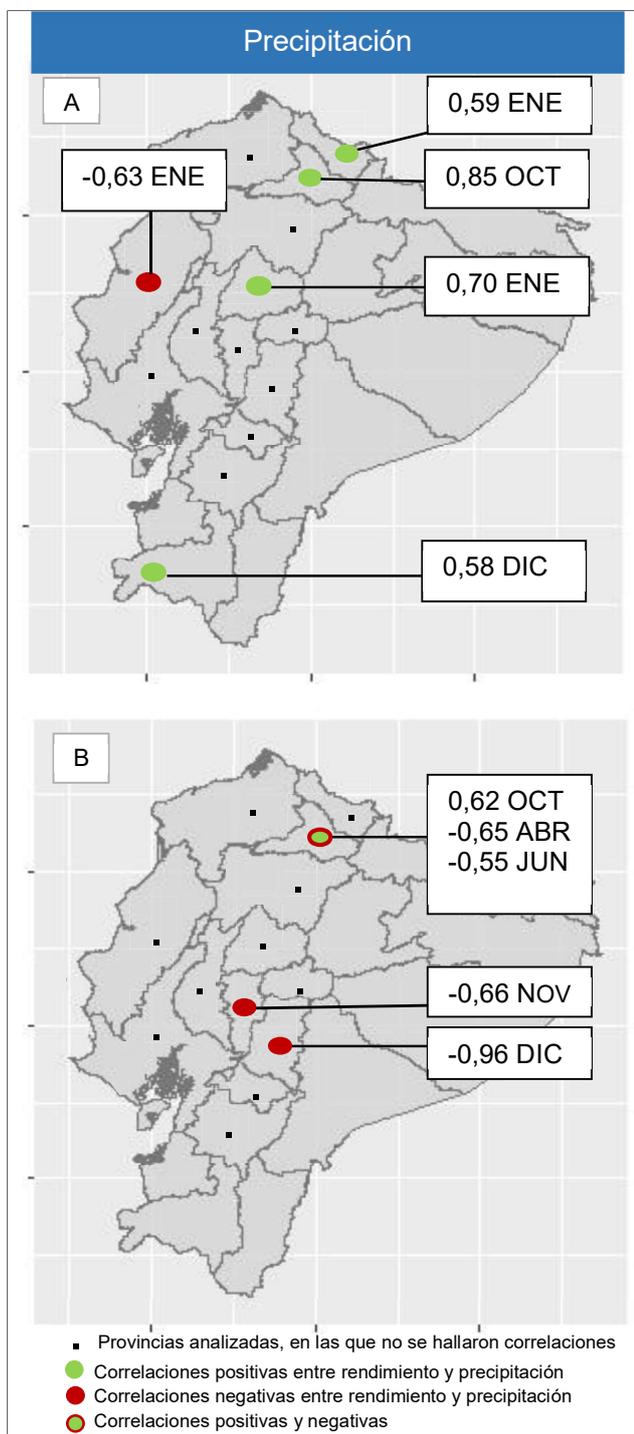
En contraste con los resultados del cultivo solo, para el cultivo asociado, de ambos tipos de maíz (suave y duro) se descubrió que predominan correlaciones negativas entre el rendimiento del cultivo y la precipitación. Este patrón se da excepto en Cotopaxi e Imbabura, donde se tienen correlaciones positivas entre la precipitación de octubre y el rendimiento del cultivo de maíz suave y duro respectivamente, (Figura 35B y Figura 35B).

**Figura 34. Correlaciones significativas entre la precipitación mensual y el rendimiento del cultivo de maíz suave**  
**A) Cultivo solo y B) Cultivo asociado**



Elaborado por: Montoya Jacquelin

**Figura 35. Correlaciones significativas entre la precipitación mensual y el rendimiento del cultivo de maíz duro**  
**A) Cultivo solo y B) Cultivo asociado**



Elaborado por: Montoya Jacquelin

Los correlaciones negativas con la precipitación, predominantes en el cultivo asociado, son interesantes pues este tipo de cultivo muchas veces es sugerido para

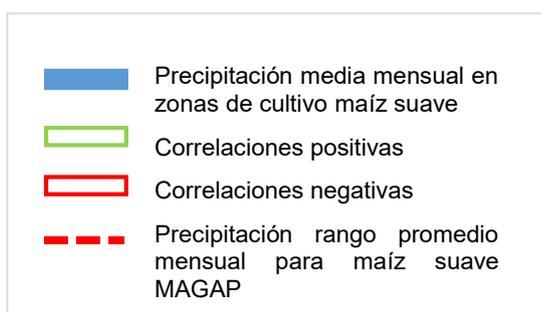
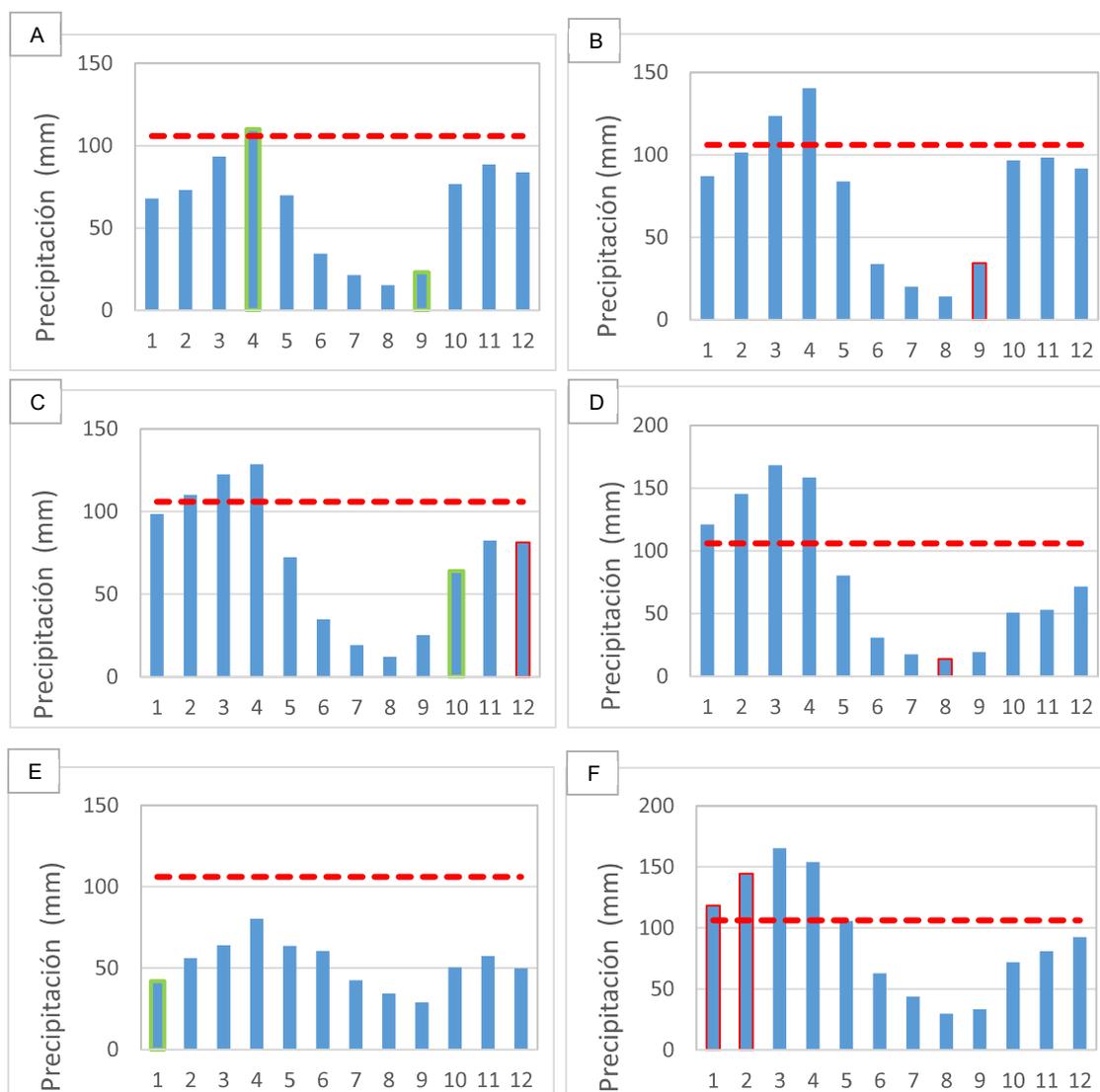
dinamizar la economía de los agricultores, promover la fijación de nutrientes y disminuir el riesgo de plagas o enfermedades ocasionadas por monocultivos; considerándolo incluso una medida de agricultura sostenible o de conservación y una manera de mejorar los rendimientos (Basantes, 2015; FAO, 2016b).

No obstante, en Ecuador el cultivo asociado presenta rendimientos más bajos que el cultivo solo, como se presentó en la sección 4.1.5. Aunque la información sobre las interacciones de este tipo de cultivo es escasa, los bajos rendimientos podrían atribuirse al clima, debido a las fuertes correlaciones negativas halladas con la precipitación mensual en este estudio.

Lobell et al., (2007), indica que la precipitación es un factor determinante para el rendimiento del maíz, pues al ser un cultivo de secano, se requiere de las lluvias para su crecimiento y productividad, generando así correlaciones positivas. No obstante, cuando se presentan correlaciones negativas entre el rendimiento y la precipitación, Drewniak et al., (2013), indican que esta variable climática podría no ser un factor limitante para el cultivo, sino al contrario podría estar alcanzando o superando el umbral requerido para la planta, comenzando a afectar su desarrollo.

De acuerdo al boletín situacional del cultivo de maíz en Ecuador, este umbral mensual es en promedio 106 mm para el cultivo de maíz suave (MAGAP, 2015b). Es así que se podrían explicar las correlaciones negativas, para el maíz suave asociado en Cañar, donde se han presentado precipitaciones superiores al umbral requerido, con un promedio de 118,44 mm y 144,32 mm, para los meses en los cuales se hallaron las correlaciones, es decir enero y febrero respectivamente, (Figura 36F); y en Cotopaxi en donde, para el mes de diciembre, con una precipitación de 81,26 mm, se alcanza un 76,66% del umbral, (Figura 36C).

**Figura 36. Precipitación mensual promedio (2002-2015) en las zonas productoras del cultivo de maíz suave en las provincias de A) Imbabura, B) Pichincha, C) Cotopaxi, D) Bolívar, E) Tungurahua, F) Cañar**



Elaborado por: Montoya Jacquelin

Para el maíz duro, el umbral mensual de precipitación es en promedio 164 mm de acuerdo al boletín situacional del cultivo de MAGAP (2015a). Con este valor podría

explicarse la única correlación negativa que se dio para este tipo de maíz, cultivo solo, en la provincia de Manabí, donde la precipitación de enero de 155,34 mm, aunque no supera el umbral, alcanza el 94,72% de este, (Figura 37G).

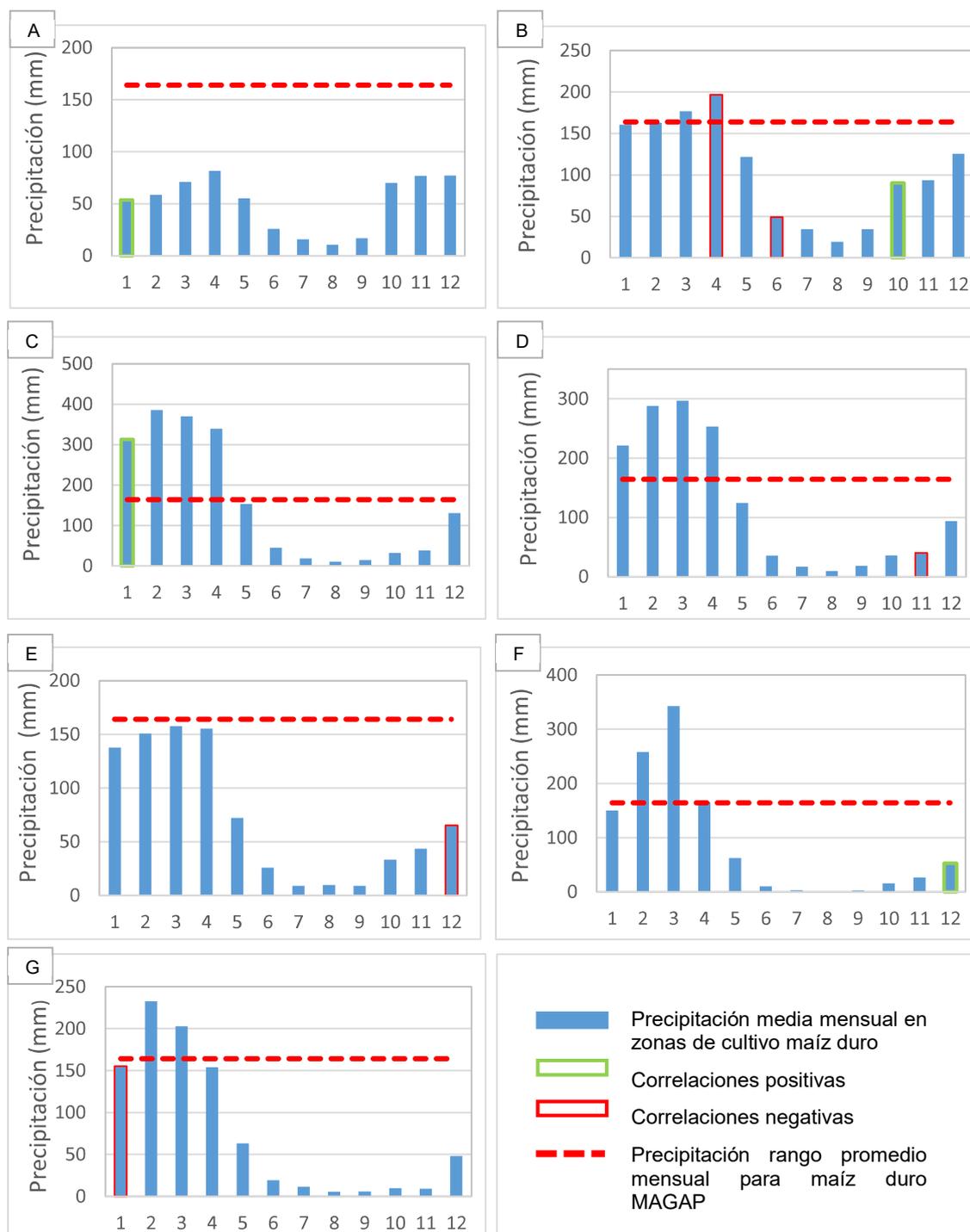
Para el cultivo de maíz duro, cultivo asociado, se explicarían las correlaciones negativas de manera similar únicamente para Imbabura durante abril, con una precipitación de 196,79 mm que sí supera el umbral, (Figura 37B).

El impacto negativo sobre los rendimientos, cuando se alcanza o supera el umbral de precipitación sería por ejemplo porque, el incremento en las lluvias anega la cobertura de mantillo formado por el cultivo asociado, generando falta de oxígeno, pudrición o condiciones para la aparición de enfermedades o plagas (Rusinamhodzi et al., 2011).

Además, el exceso de agua podría también afectar negativamente al cultivo y sus rendimientos, debido a procesos de lixiviación de nitratos en el suelo, lo que perjudica la absorción de nutrientes y el desarrollo de la planta (Chmielewski & Potts, 1995; Drewniak et al., 2013).

Por otro lado, en los casos que no existe un exceso de lluvias, y aun así se tiene un impacto negativo sobre los rendimientos, o cuando se supera el umbral y se tienen correlaciones positivas, deberían explorarse otras alternativas para entender este comportamiento, como por ejemplo la etapa fenológica en la cual se encuentra el cultivo o el efecto adicional de la temperatura (Huho et al., 2012).

**Figura 37. Precipitación mensual promedio (2002-2015) en las zonas productoras del cultivo de maíz duro en las provincias de A) Carchi, B) Imbabura, C) Cotopaxi, D) Bolívar, E) Chimborazo, F) Loja y G) Manabí**



Elaborado por: Montoya Jacquelin

En las provincias en las que la precipitación no presentó correlaciones con el rendimiento del cultivo, podría deberse a dos factores: que existe otro tipo de

relaciones no monotónicas entre estas variables o que la disponibilidad de riego satisface el requerimiento hídrico del cultivo (Peprah, 2014). Aunque esta última alternativa sería discutible, considerando que a pesar de que el maíz es uno de los cultivos principales con riego tanto en la costa como en la sierra, en Ecuador la superficie bajo riego corresponde únicamente al 31,56% del total de la superficie agropecuaria (FAO, 2016d; Pilataxi, 2016).

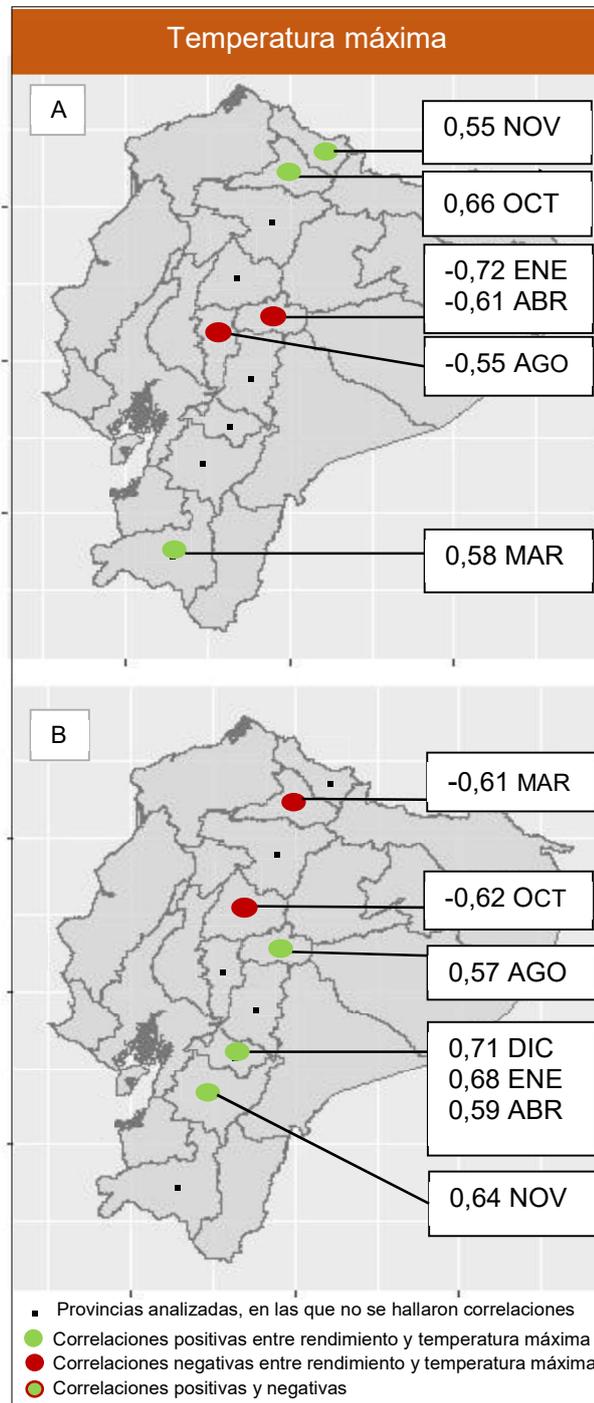
#### **4.2.2 Temperatura máxima**

A nivel global, se estiman diferentes efectos sobre el rendimiento del cultivo debido al incremento de la temperatura, así para los trópicos se espera que el incremento en la temperatura afecte la producción, mientras que en latitudes altas sería beneficioso (FAO, 2016c). Por otro lado, considerando condiciones más locales, la influencia de la temperatura sobre el rendimiento del maíz, dependerá de la altitud a la cual se cultiva, pues en zonas altas el incremento de la temperatura sería beneficioso en comparación a zonas bajas (Balaghi et al., 2008).

Al igual que con la precipitación, con la temperatura máxima se pueden tener graves consecuencias para los cultivos y sus rendimientos, cuando se supera un rango óptimo (FAO, 2016c; Milošević et al., 2015). Según los boletines situacionales del cultivo de maíz en Ecuador, la temperatura máxima óptima para el maíz suave es de 20 °C, mientras que para el maíz duro es de 32°C (MAGAP, 2015a, 2015b).

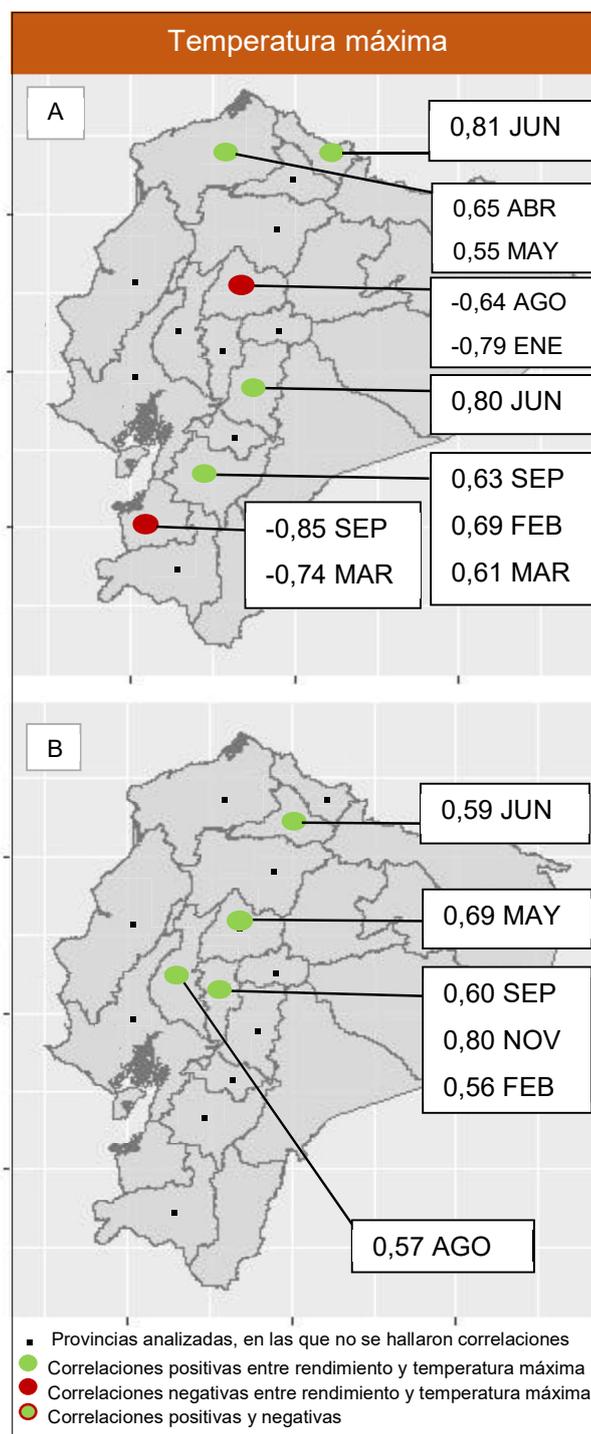
En el presente estudio para la temperatura máxima de ambos tipos de maíz, suave y duro, tanto para el cultivo solo como para el cultivo asociado, se obtuvieron correlaciones positivas en la mayoría de los casos. Las excepciones de este patrón se dieron para el maíz suave, cultivo solo, en Tungurahua y Bolívar, (Figura 38A), para el maíz suave, cultivo asociado, en Imbabura y Cotopaxi, (Figura 38B), y para el maíz duro, cultivo solo, en Cotopaxi y El Oro, (Figura 39A).

**Figura 38. Correlaciones significativas entre la temperatura máxima mensual y el rendimiento del cultivo de maíz suave**  
**A) Cultivo solo y B) Cultivo asociado**



Elaborado por: Montoya Jacquelin

**Figura 39. Correlaciones significativas entre la temperatura máxima mensual y el rendimiento del cultivo de maíz duro**  
**A) Cultivo solo y B) Cultivo asociado**



Elaborado por: Montoya Jacquelin

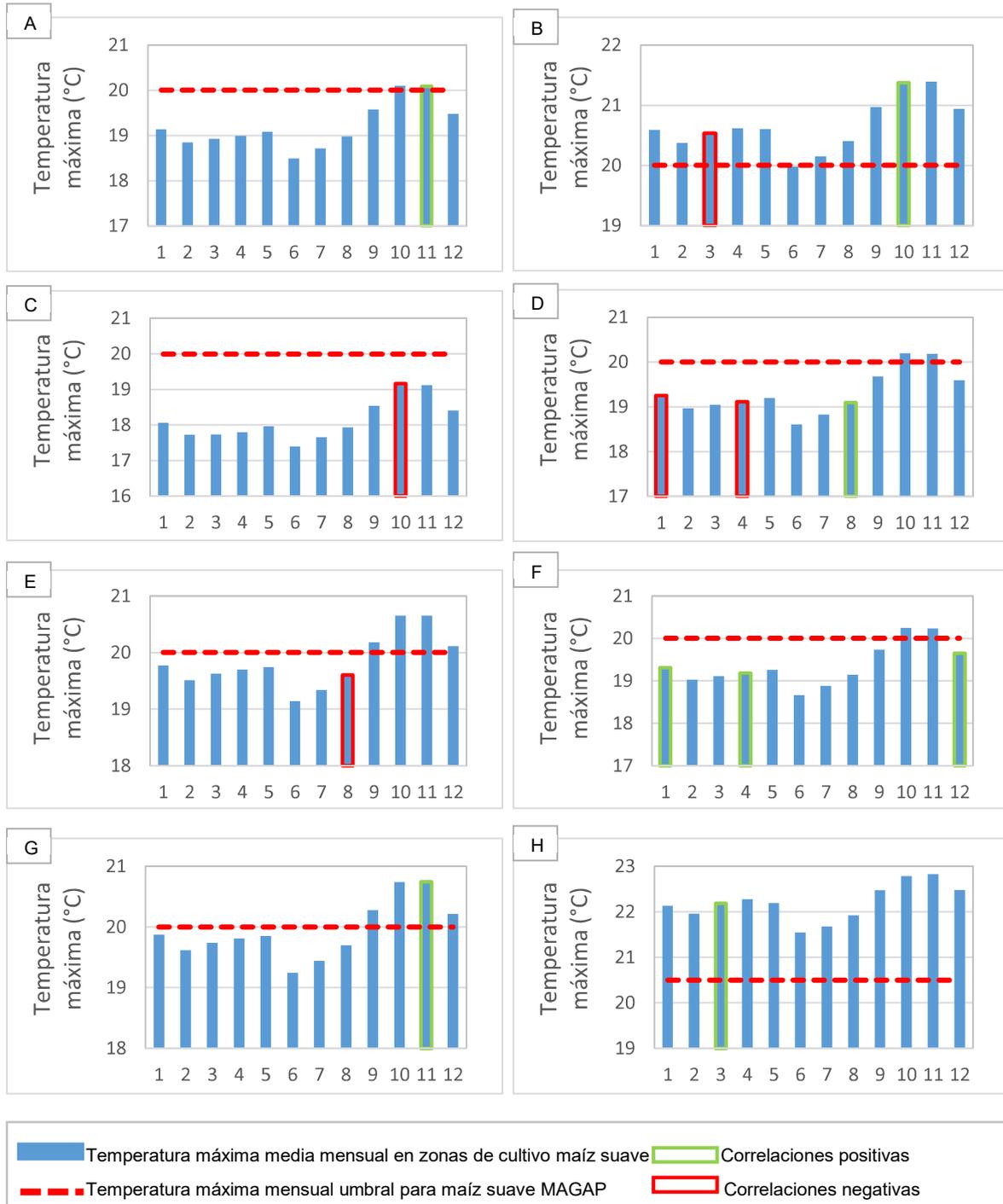
De las correlaciones negativas, únicamente en Imbabura con una temperatura máxima de 20,54 °C en marzo, se superó el umbral, (Figura 40B). Las correlaciones

negativas, entre el rendimiento del cultivo y la temperatura máxima, podrían explicarse a que el incremento en la temperatura acelera la acumulación de unidades térmicas, acortando a su vez el periodo de crecimiento y disminuyendo el potencial de desarrollo del grano (Huang et al., 2015). Otras posibles explicaciones son que, el incremento de la temperatura podría favorecer la aparición de plagas y enfermedades que perjudican el desarrollo del cultivo, o podría también incrementar la demanda evaporativa, generando con esto un déficit de humedad en el suelo (Drewniak et al., 2013; FAO, 2016c).

Por otro lado, para las correlaciones positivas, se esperaría que las temperaturas en las zonas de producción se encuentran aún por debajo del umbral máximo (Drewniak et al., 2013). Al graficar las variables climáticas obtenidas, con los respectivos umbrales, se cumple esta situación para el maíz suave, únicamente en las provincias de Tungurahua y Cañar, donde se obtuvo como promedio mensual durante el periodo de estudio, temperaturas máximas mensuales de 19,09 °C en el mes de agosto para la primera provincia, y temperaturas de 19,31 °C, 19,18°C y 19,65 °C, en los meses de enero, abril y diciembre para la segunda provincia (Figura 40D y Figura 40F).

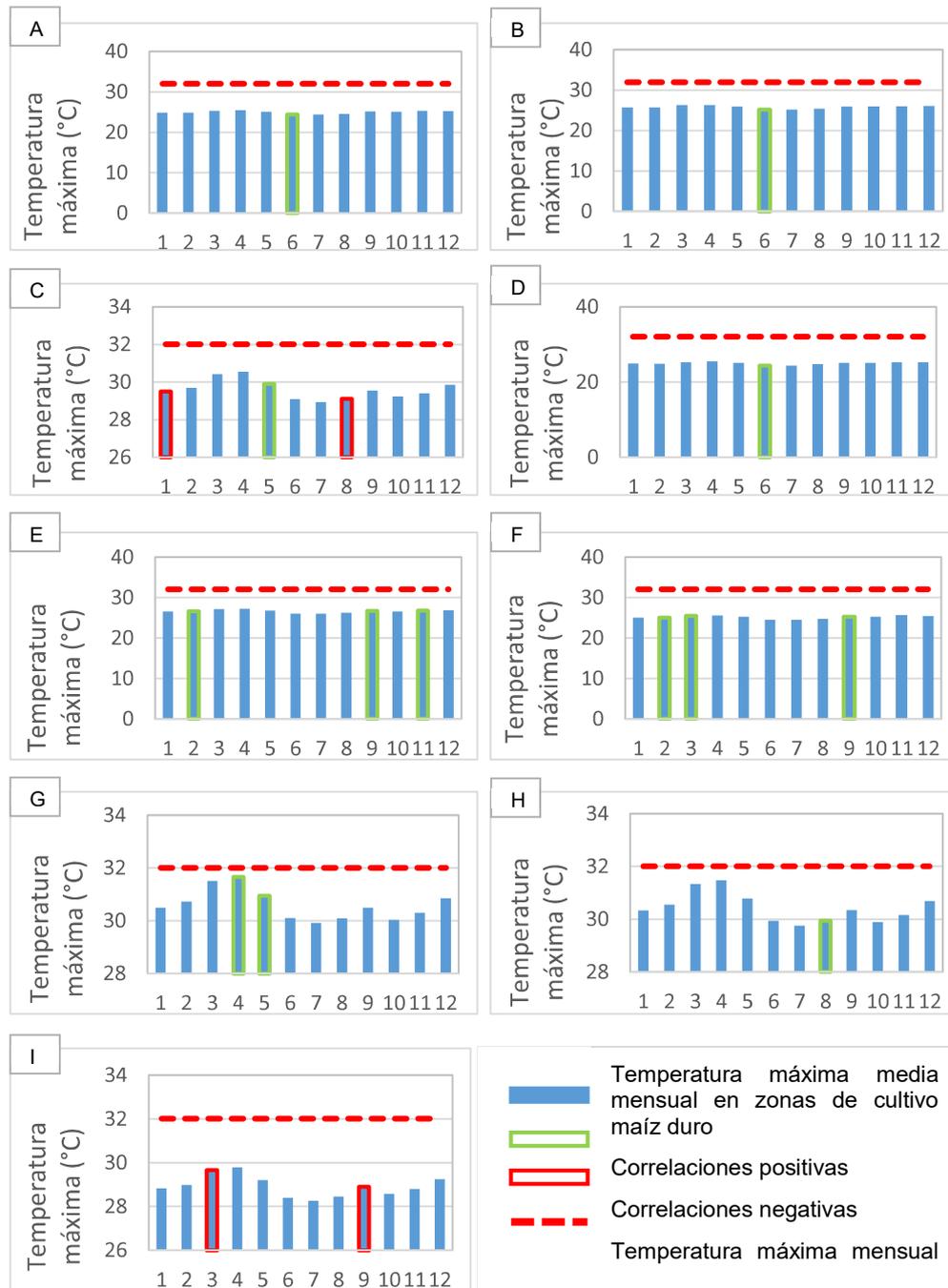
Finalmente, para el maíz duro, se cumple en todos los casos que no se ha alcanzado el umbral máximo, y que el incremento de la temperatura máxima tendría una influencia positiva para los rendimientos (Figura 41).

**Figura 40. Temperatura máxima mensual promedio (2002-2015) en las zonas productoras del cultivo de maíz suave en las provincias de A) Carchi, B) Imbabura, C) Cotopaxi, D) Tungurahua, E) Bolívar, F) Cañar, G) Azuay y H) Loja**



Elaborado por: Montoya Jacquelin

**Figura 41. Temperatura máxima mensual promedio (2002-2015) en las zonas productoras del cultivo de maíz duro en las provincias de A) Carchi, B) Imbabura, C) Cotopaxi, D) Chimborazo, E) Bolívar, F) Azuay, G) Esmeraldas, H) Los Ríos, I) El Oro**



Elaborado por: Montoya Jacquelin

### 4.2.3 Temperatura mínima

Finalmente, de las variables climáticas locales, se tiene la temperatura mínima. Esta variable puede limitar la producción y almacenamiento de fotosintatos en el cultivo, o al estar relacionada con eventos de heladas, puede también generar congelamiento y ruptura celular, desecando a la planta y afectando al rendimiento principalmente cuando el evento ocurre en la etapa de floración, pues en esta se desecan los estigmas y los granos de polen (SENAMHI, 2013).

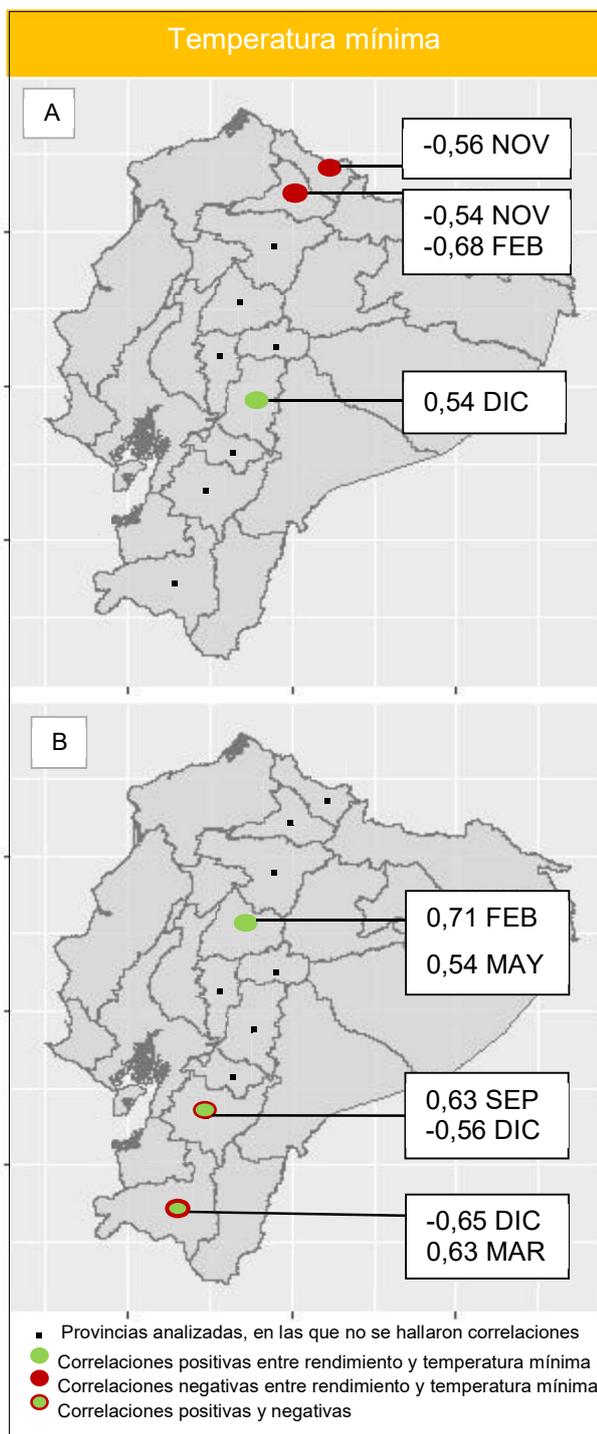
Para el caso del maíz suave, se obtuvieron correlaciones positivas en la provincia de Chimborazo para el cultivo solo, y en las provincias de Cotopaxi, Azuay y Loja para el cultivo asociado, (Figura 41A y Figura 41B). Por otro lado, se obtuvieron correlaciones negativas, para el maíz suave cultivo solo, en provincias de la sierra norte, Carchi e Imbabura, y para el maíz suave cultivo asociado, en provincias de la sierra sur, Azuay y Loja.

Para el maíz duro se hallaron principalmente correlaciones positivas, a excepción de las correlaciones entre el rendimiento de maíz duro cultivo solo, en Cotopaxi con la temperatura mínima de febrero y abril, y el rendimiento del maíz duro cultivo asociado en Pichincha con la temperatura mínima en septiembre, (Figura 42A y Figura 42B).

Para la temperatura mínima el umbral del maíz suave es de 10°C y para el maíz duro es de 22°C (MAGAP, 2015a, 2015b). Con lo cual se identificó que, en las zonas de producción y durante el periodo de estudio, la temperatura mínima mensual se presenta por debajo del rango óptimo para ambos tipos de maíz, (Figura 43 y Figura 44).

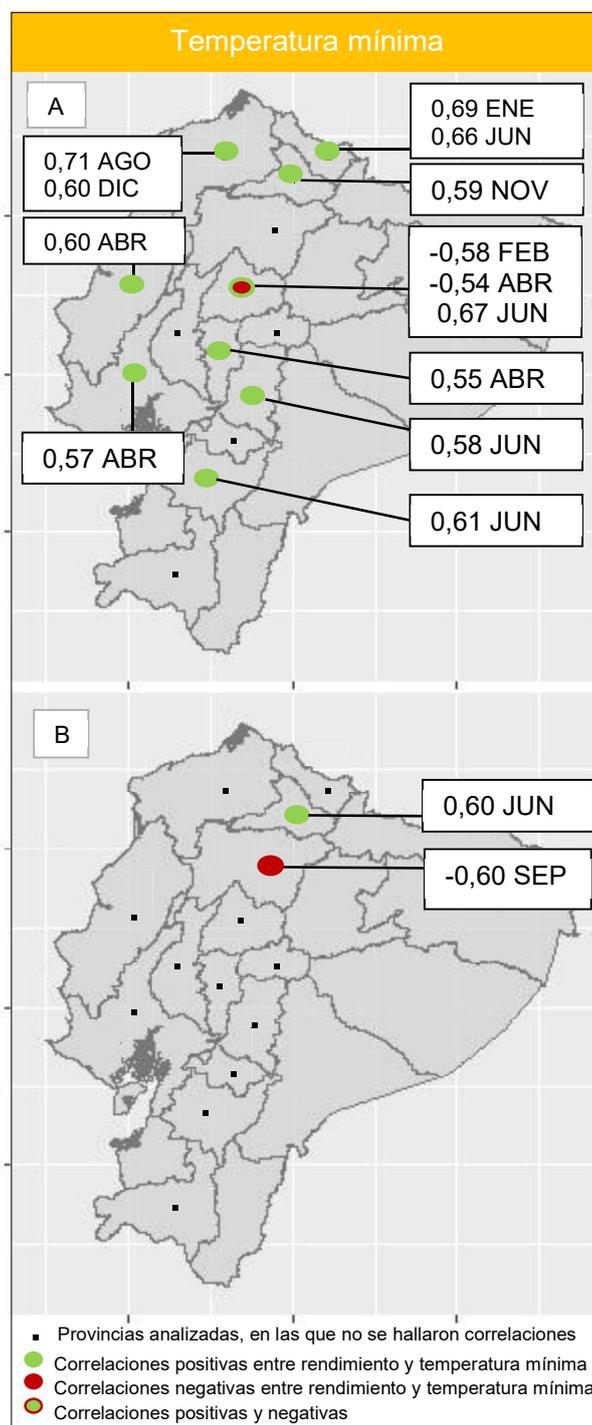
De las provincias en las cuales se obtuvieron correlaciones entre el rendimiento del cultivo de maíz y la temperatura mínima, los valores más bajos de esta variable se identificaron en la zona productora de maíz suave de Cotopaxi, con temperaturas mínimas promedio, de alrededor de 2°C, (Figura 43C). Estos valores podrían estar relacionados a eventos de heladas, de las cuales se tiene frecuentes registros en esta provincia según Álvarez (2007).

**Figura 42. Correlaciones significativas entre la temperatura mínima mensual y el rendimiento del cultivo de maíz suave**  
**A) Cultivo solo y B) Cultivo asociado**



Elaborado por: Montoya Jacquelin

**Figura 43. Correlaciones significativas entre la temperatura mínima mensual y el rendimiento del cultivo de maíz duro**  
**A) Cultivo solo y B) Cultivo asociado**



Elaborado por: Montoya Jacquelin

En Cotopaxi con temperaturas mínimas de 2,32°C en febrero, 2,57°C en mayo y 2,08°C en junio, en Chimborazo con una temperatura mínima promedio de 3,93°C

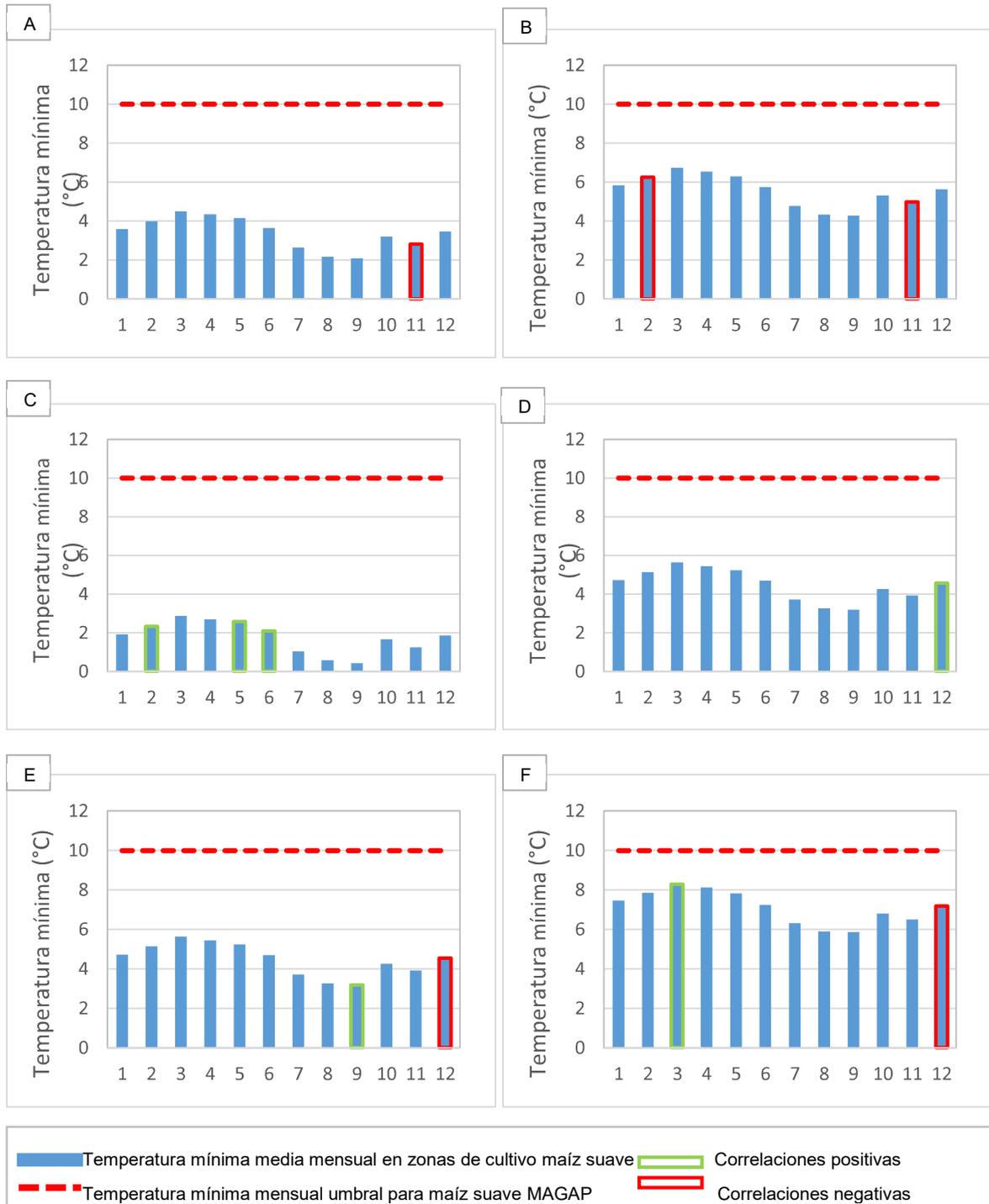
en diciembre, en Azuay con 3,18°C en septiembre y en Loja con 8,30°C en marzo, es válido el argumento sobre los umbrales óptimos para el desarrollo de la planta, pues el incremento de la temperatura favorecería para alcanzar el umbral mínimo óptimo para el cultivo, (Figura 44C, Figura 44D, Figura 44E, y Figura 44F).

Sin embargo, en Carchi con 2,83°C en noviembre, (Figura 44A), en Imbabura con 6,24°C en febrero y 4,97°C en noviembre, (Figura 44B), en Azuay con 4,56°C en diciembre (Figura 44E), y en Loja con 7,18°C igualmente en diciembre (Figura 44F), a pesar de tampoco cumplirse el umbral de temperatura mínima, se presentan correlaciones negativas entre esta variable climática y el rendimiento de cultivo de maíz suave.

Además de los efectos que las bajas temperaturas tienen sobre el cultivo, mencionados al inicio de esta sección, cuando coincide con condiciones de exceso de lluvias y suelos mal drenados, generan usualmente un exceso de humedad del suelo, lo que inhibe la aireación, fomenta enfermedades, y afecta a los diferentes estadios del cultivo, principalmente a la germinación (Huang et al., 2015).

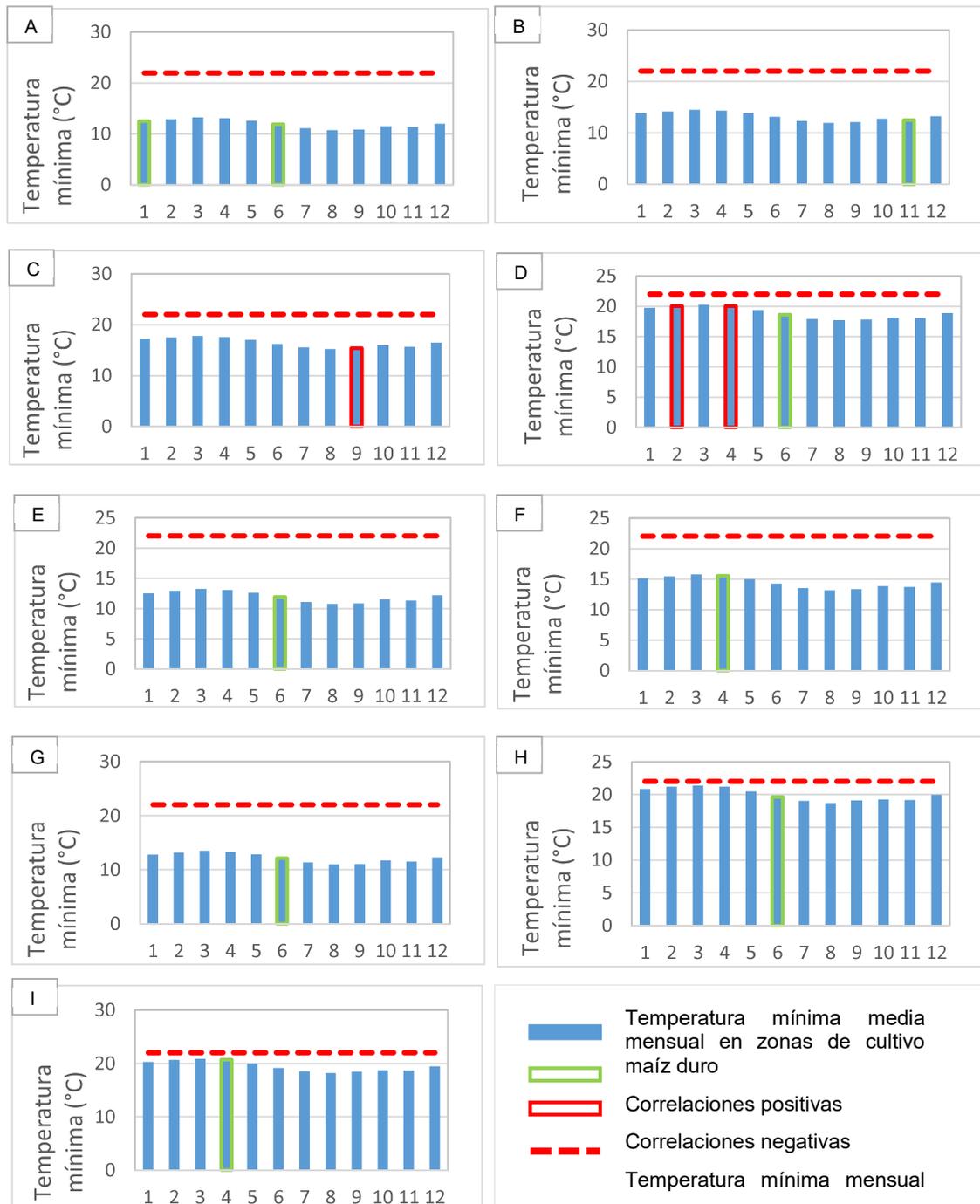
No obstante, para explicar las correlaciones negativas, podría ocurrir lo contrario. Condiciones de escasez de lluvia generarían que las temperaturas bajas beneficien al cultivo, pues disminuirían la pérdida de agua del suelo por evaporación, manteniendo la humedad del suelo. Adicionalmente, el incremento de la temperatura mínima podría incrementar las tasas de respiración, reduciendo el peso seco acumulado a través de la fotosíntesis durante el día (Fassio et al., 1998).

**Figura 44. Temperatura mínima mensual promedio (2002-2015) en las zonas productoras del cultivo de maíz suave en las provincias de A) Carchi, B) Imbabura, C) Cotopaxi, D) Chimborazo, E) Azuay y F) Loja**



Elaborado por: Montoya Jacquelin

**Figura 45. Temperatura mínima mensual promedio (2002-2015) en las zonas productoras del cultivo de maíz duro en las provincias de A) Carchi, B) Imbabura, C) Pichincha, D) Cotopaxi, E) Chimborazo F) Bolívar G) Azuay, H) Esmeraldas, I) Guayas, J) Manabí**



Elaborado por: Montoya Jacquelin

#### 4.2.4 Anomalías de la temperatura superficial del mar

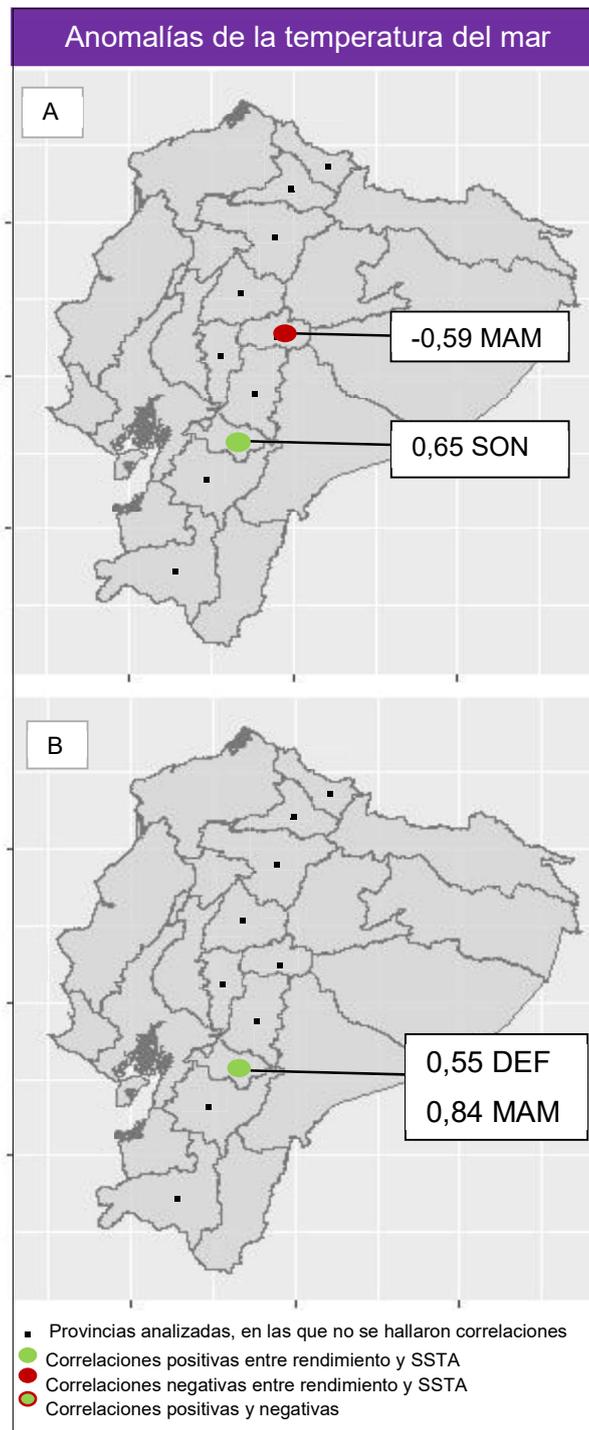
El comportamiento de la temperatura del océano influye sobre los patrones de precipitación, y esto a su vez puede relacionarse con los rendimientos de los cultivos. En la región pampeana argentina, por ejemplo, en los años con presencia de El Niño se incrementan las lluvias, beneficiando a los rendimientos del cultivo de maíz; mientras que con La Niña las lluvias disminuyen generando un descenso de los rendimientos (Brendel et al., 2017).

En nuestro país se desconoce la influencia del mar sobre los rendimientos del cultivo de maíz. Sin embargo, lo que sí se sabe es que mientras en la zona costera, la influencia de El Niño genera un incremento en las precipitaciones, en la sierra durante el periodo seco estas disminuyen significativamente (Villacís et al., 2003).

En este estudio, se identificaron muy pocas relaciones entre el rendimiento del cultivo de maíz con las anomalías de la temperatura del mar. Para el rendimiento del maíz suave cultivo solo, se identificó una correlación negativa con las anomalías de la temperatura del mar correspondientes al trimestre marzo, abril, mayo (MAM) en Tungurahua, y una correlación positiva con las anomalías de septiembre, octubre, noviembre (SON) en Cañar (Figura 46A). Para el rendimiento del maíz suave cultivo asociado se identificaron correlaciones positivas en Cañar, con las anomalías de diciembre, enero, febrero (DEF) y marzo, abril, mayo (MAM), (Figura 46B). Por otro lado, para el maíz duro cultivo solo se identificaron correlaciones positivas del rendimiento con las anomalías de diciembre, enero, febrero (DEF), y marzo, abril, mayo (MAM) en Bolívar, y con las anomalías de junio, julio, agosto (JJA) en Chimborazo, (Figura 47A). Finalmente, una correlación positiva entre el rendimiento del maíz duro cultivo asociado y las anomalías de junio, julio, agosto (JJA) en Imbabura, (Figura 47B).

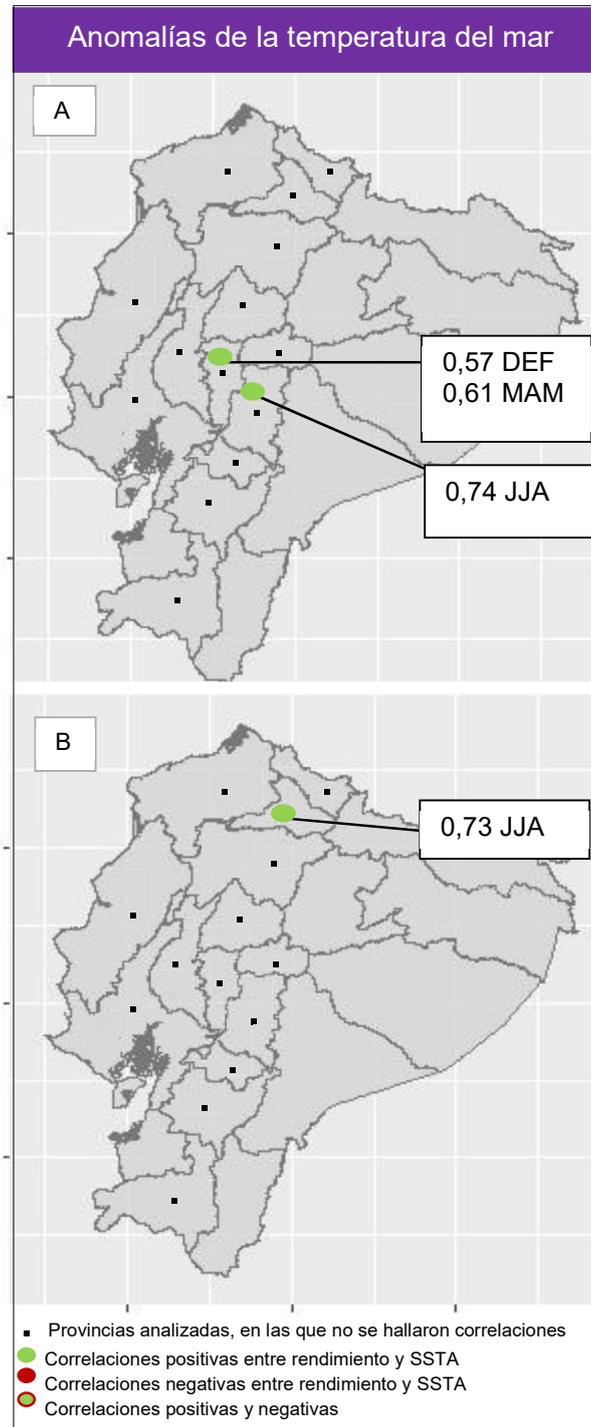
Estos resultados sugieren que con El Niño, se obtendrían mejores rendimientos del cultivo de maíz en algunas provincias de la región interandina, a excepción de Tungurahua, donde el impacto sobre el rendimiento sería negativo.

**Figura 46. Correlaciones significativas entre las anomalías de la temperatura del mar y el rendimiento del cultivo de maíz suave**  
**A) Cultivo solo y B) Cultivo asociado**



Elaborado por: Montoya Jacquelin

**Figura 47. Correlaciones significativas entre las anomalías de la temperatura del mar y el rendimiento del cultivo de maíz duro**  
**A) Cultivo solo y B) Cultivo asociado**



Elaborado por: Montoya Jacquelin

#### **4.2.5 Evaluación general de la relación entre variables climáticas locales y el rendimiento del cultivo de maíz**

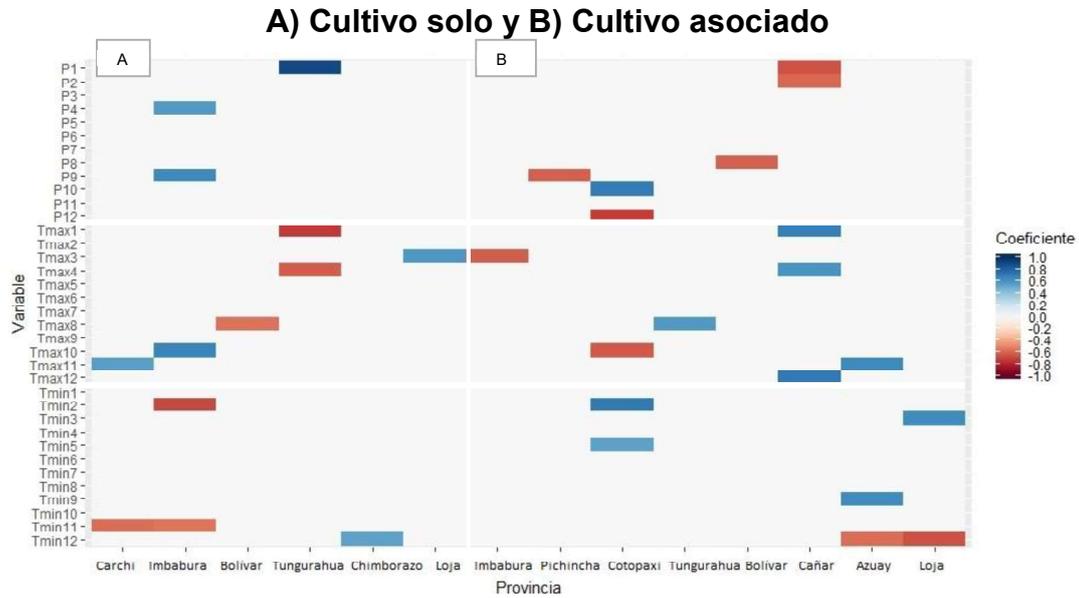
La evaluación del impacto del clima con los coeficientes de correlación, está limitada por la incertidumbre sobre las fechas de siembra, pues esto impide comprender con exactitud la etapa en la cual se encuentra el cultivo. Sin embargo, esta es una aproximación válida para ampliar el conocimiento de la influencia del clima sobre los cultivos (Ashfaq et al., 2011; Iizumi & Ramankutty, 2015).

Para tener una perspectiva general de los resultados de esta sección, se graficaron como mapas de calor las correlaciones obtenidas entre las variables climáticas y los rendimientos del maíz suave cultivo solo (Figura 48A), maíz suave cultivo asociado (Figura 48B), maíz duro cultivo solo (Figura 49A) y maíz duro cultivo asociado (Figura 49B). Con esto se identificó la variable que más influye sobre los rendimientos, y los patrones de respuesta frente al clima por tipo de cultivo.

La variable climática con una mayor respuesta sobre los rendimientos del cultivo de maíz en general, es la temperatura máxima, pues se hallaron entre estas variables un total de 32 correlaciones; le sigue la temperatura mínima con 25 correlaciones y finalmente la precipitación con únicamente 19.

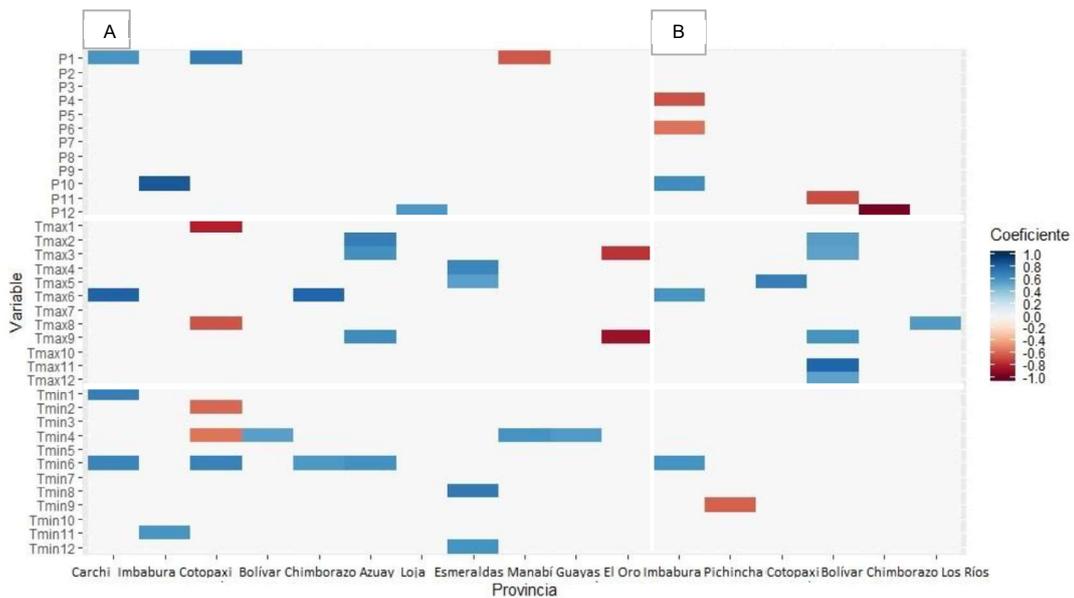
En cuanto al tipo de cultivo, los resultados indican que los cultivos solos tienen diferentes relaciones con el clima en comparación a los cultivos asociados. Esto era algo que se esperaba cuando se graficaron las series de rendimientos al inicio de la investigación, pues las series de rendimiento de los cultivos solos presentaban diferentes patrones en comparación a los rendimientos de los cultivos asociados. Un hallazgo destacado dentro de este criterio, es que, tanto para el maíz suave como para el duro, los impactos negativos para los cultivos asociados son principalmente debido a la precipitación, pues la temperatura máxima y mínima afectan de forma negativa mayoritariamente al cultivo solo. Por lo tanto, los bajos rendimientos de los cultivos asociados se podrían atribuir a la variable de precipitación.

**Figura 48. Correlaciones entre las variables climáticas y el rendimiento del cultivo de maíz suave**



Elaborado por: Montoya Jacquelin

**Figura 49. Correlaciones entre las variables climáticas y el rendimiento del cultivo de maíz duro A) Cultivo solo y B) Cultivo asociado**



Elaborado por: Montoya Jacquelin

### 4.3 MODELOS DE REGRESIÓN MÚLTIPLE DEL RENDIMIENTO EN FUNCIÓN DE LAS VARIABLES CLIMÁTICAS

En los modelos de regresión, que se presentan a continuación, se expresa como  $y_i$  el rendimiento de maíz en cada provincia,  $s_m$  (sin modelo) para las provincias en las cuales no se obtuvieron correlaciones entre el rendimiento de maíz y las variables climáticas, limitando la construcción de modelos lineales, y para las cuales será necesario una futura exploración con otro tipo de modelos. Finalmente, como en la sección anterior, las variables explicativas se presentan con las siglas “P” para precipitación, “Tmax” para la temperatura máxima y “Tmin” para la temperatura mínima, estas acompañadas de un índice numérico que representa el mes.

#### 4.3.1 Modelos de regresión para el rendimiento del cultivo de maíz suave

A través de los modelos generados se identificó que, el rendimiento del maíz suave cultivo solo se beneficia con el incremento de la precipitación en las provincias de Imbabura y Tungurahua, de la temperatura máxima en Carchi y Loja, y de la temperatura mínima en Chimborazo. Mientras tanto, se identificó impactos negativos sobre el rendimiento del cultivo, cuando incrementa la temperatura máxima en Bolívar y la temperatura mínima en Carchi e Imbabura, (Figura 50).

Los impactos de mayor magnitud serían en Imbabura con un incremento de 0,5015 tm/ha por cada mm de precipitación de septiembre, y en Carchi con una disminución del rendimiento de 0,4819 tm/ha por cada °C que incrementa la temperatura mínima del mes de noviembre (Tabla 12).

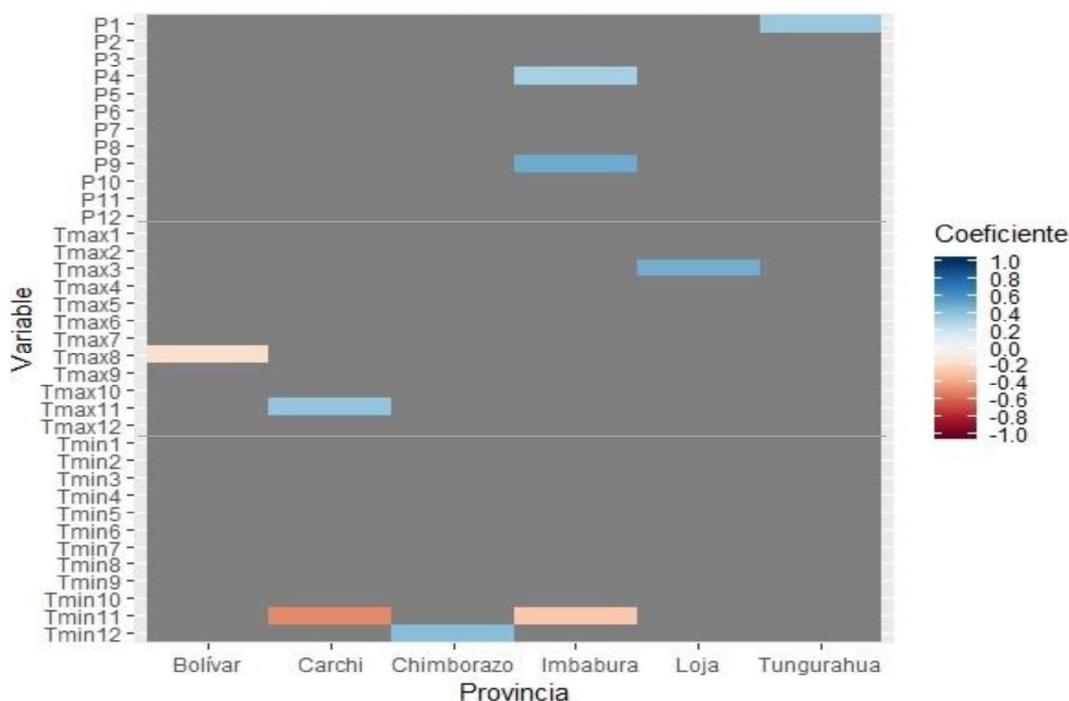
De acuerdo con el  $R^2_{ajustado}$ , presentado también en la Tabla 12, se presenta el mejor ajuste para los modelos de rendimiento de maíz suave cultivo solo, para las provincias de Tungurahua e Imbabura. Bondad de ajuste que también puede evidenciarse en la Figura 51F y Figura 51D, donde se comparan las series observadas y estimadas de rendimiento.

TABLA 12: MODELOS DE RENDIMIENTO DEL MAÍZ SUAVE CULTIVO SOLO

Provincia	Modelo	$R^2$	$R^2_{ajustado}$	Error estándar residuos	p-valor	n
Azuay	SM					
Bolívar	$y_1 = -0.1674 T_{max8}$ $y_1$ presenta autocorrelación negativa de residuos	0.3341	0.2787	0.2459	0.0304	14
Cañar	SM					
Carchi	$y_2 = 2.1242 + 0.3960T_{max11} - 0.4819T_{min11}$	0.5679	0.4894	0.6916	0.0099	14
Chimborazo	$y_3 = 0.4290 T_{min12}$	0.3905	0.3397	0.5578	0.0169	14
Cotopaxi	SM					
Imbabura	$y_4 = 3.0712 + 0.5015P_9 + 0.3313P_4 - 0.2765T_{min11}$	0.7846	0.72	0.4487	0.0011	14
Loja	$y_5 = 1.4831 + 0.4912T_{max3}$	0.4341	0.3827	0.6025	0.0143	14
Pichincha	SM					
Tungurahua	$y_6 = 3.16509 + 0.37802 P_1$	0.7218	0.6987	0.2442	0.0001	14

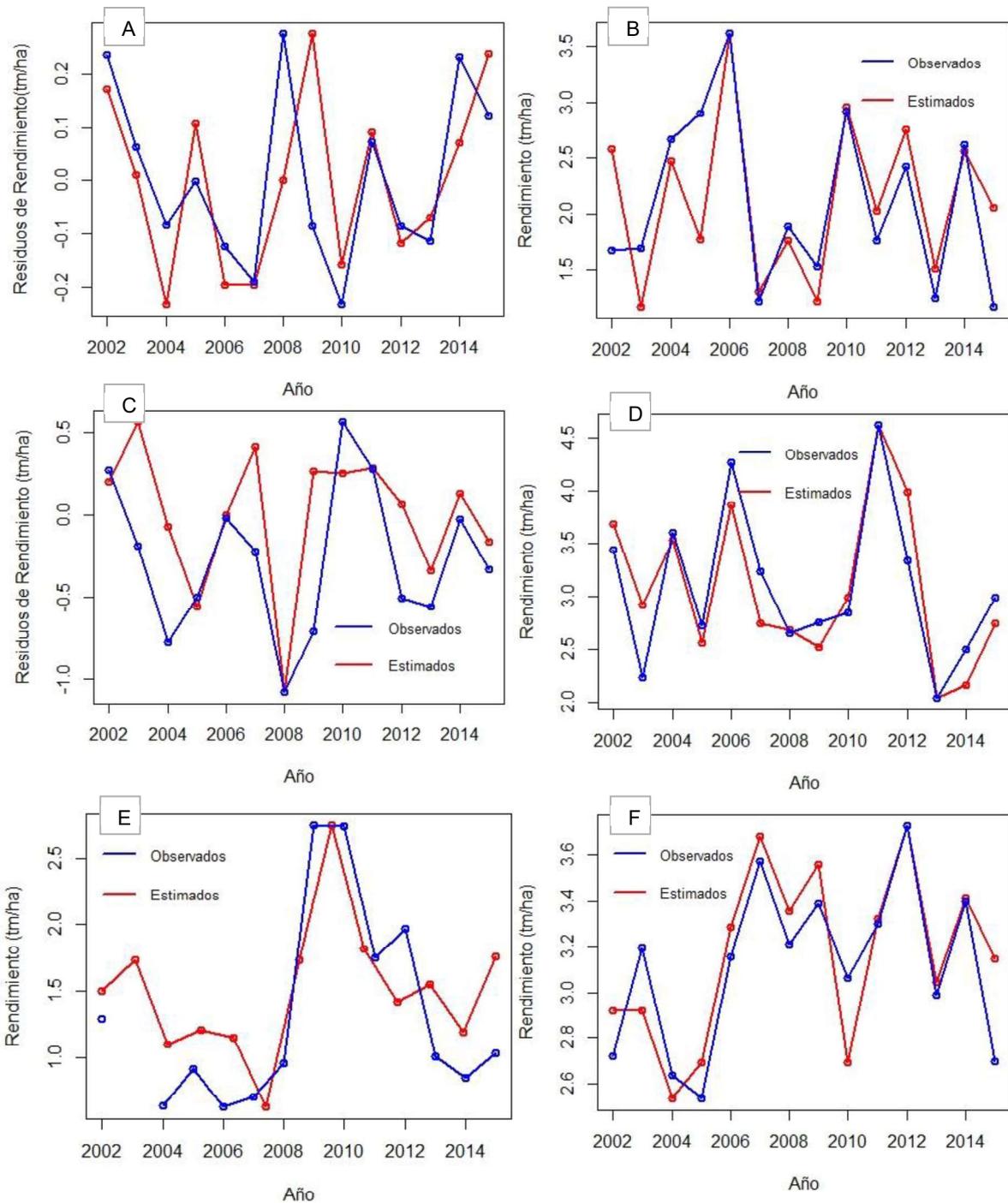
Elaborado por: Montoya Jacquelin

Figura 50. Coeficientes de las variables explicativas en los modelos de maíz suave cultivo solo



Elaborado por: Montoya Jacquelin

**Figura 51. Rendimientos observados vs Rendimientos estimados por los modelos para el maíz suave cultivo solo para las provincias de A) Bolívar, B) Carchi, C) Chimborazo, D) Imbabura, E) Loja y F) Tungurahua**



Elaborado por: Montoya Jacquelin

Para el caso del maíz suave cultivo asociado, se identificó impactos positivos de la temperatura máxima en Azuay y Tungurahua, y de la temperatura mínima en Cotopaxi y Loja, e impactos negativos principalmente de la precipitación en Bolívar,

Cañar y Pichincha, y de la temperatura máxima en Cotopaxi e Imbabura (Figura 52). De estos impactos los de mayor magnitud serían en Tungurahua con un incremento de 0,2892 tm/ha por °C que aumente la temperatura máxima en el mes de agosto, y en Imbabura una disminución de -0,6104 tm/ha con cada °C que incremente la temperatura máxima del mes de marzo (Tabla 13).

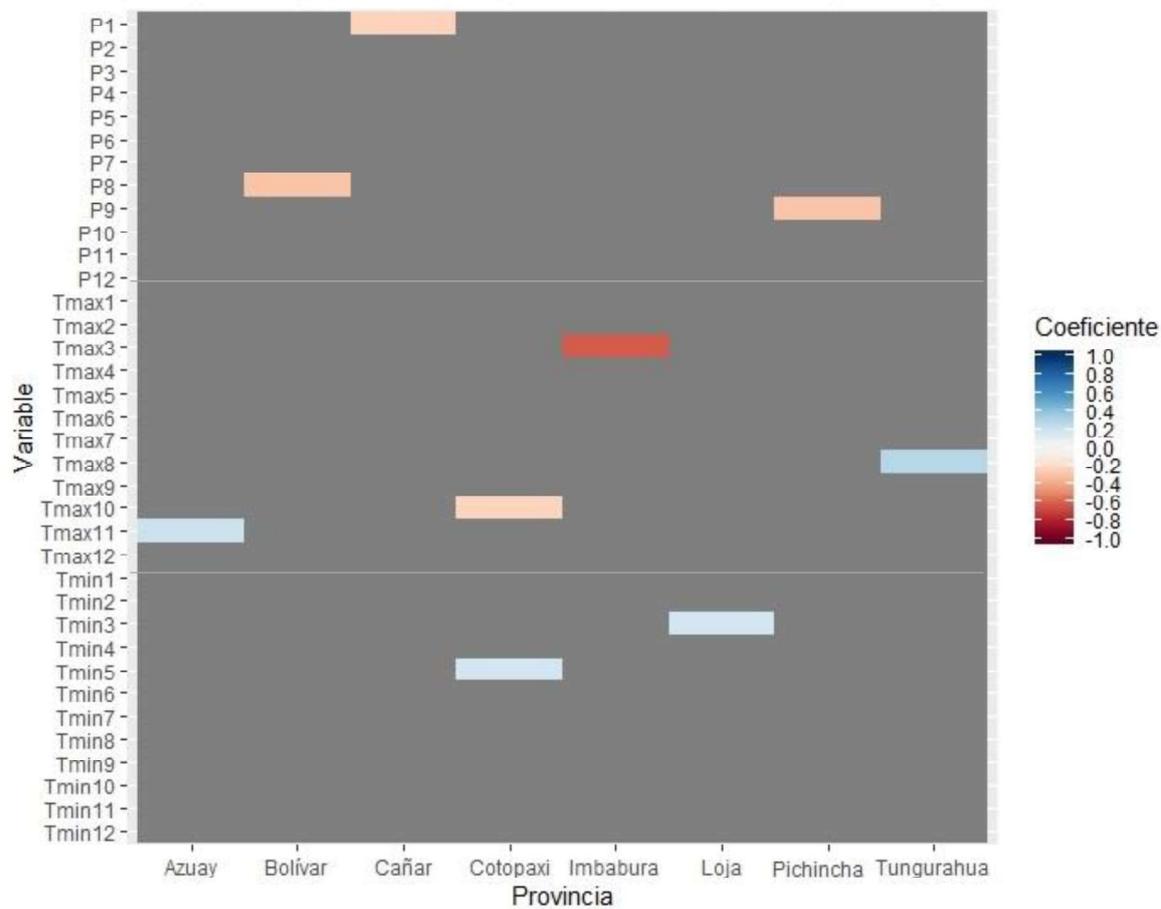
Los modelos con mejor ajuste se presentan en las provincias de Cotopaxi y Cañar, evidenciándolo en la Tabla 13, y en la Figura 53D y Figura 53C.

TABLA 13: MODELOS DE RENDIMIENTO DEL MAÍZ SUAVE CULTIVO ASOCIADO

Provincia	Modelo	$R^2$	$R^2_{ajustado}$	Error estándar residuos	p-valor	n
Azuay	$y_1 = 0.52035 + 0.21682T_{max11}$ $y_1$ No cumple homocedasticidad y presenta autocorrelación positiva de residuos	0.3051	0.2472	0.3406	0.0406	14
Bolívar	$y_2 = 1.2418 - 0.2853P_8$	0.3451	0.2905	0.409	0.0272	14
Cañar	$y_3 = 0.60771 - 0.23275P_1$	0.4094	0.3602	0.291	0.0137	14
Chimborazo	SM					
Cotopaxi	$y_4 = 0.44960 - 0.22202T_{max10} + 0.18329T_{min5}$	0.78	0.74	0.1713	0.0002	14
Imbabura	$y_5 = 1.3476 - 0.6104T_{max3}$	0.3244	0.2629	0.8235	0.0422	14
Loja	$y_6 = 0.44286 + 0.18913T_{min3}$ $y_6$ No cumple distribución normal de residuos	0.3158	0.2588	0.2897	0.0365	14
Pichincha	$y_7 = 1.5265 - 0.2802P_9$	0.2671	0.2005	0.4888	0.0705	13
Tungurahua	$y_8 = 2.5043 + 0.2892T_{max8}$	0.3116	0.2542	0.4474	0.0380	14

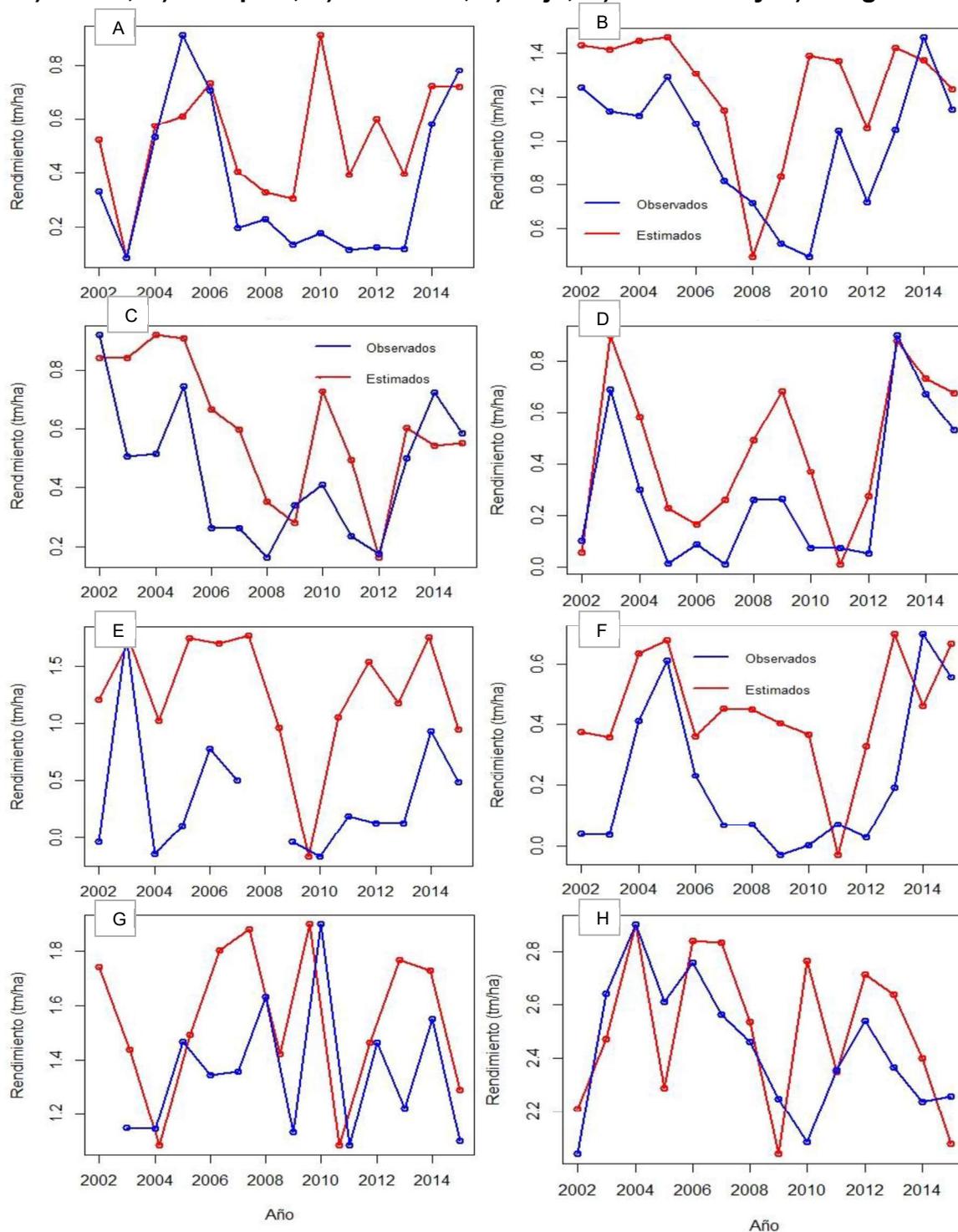
Elaborado por: Montoya Jacquelin

**Figura 52. Coeficientes de las variables explicativas en los modelos de maíz suave cultivo asociado**



Elaborado por: Montoya Jacquelin

**Figura 53. Rendimientos observados vs Rendimientos estimados por los modelos para el maíz suave cultivo asociado para A) Azuay, B) Bolívar, C) Cañar, D) Cotopaxi, E) Imbabura, F) Loja, G) Pichincha y H) Tungurahua**



Elaborado por: Montoya Jacquelin

### 4.3.2 Modelos de regresión para el rendimiento del cultivo de maíz duro

Para el caso del maíz duro cultivo solo se obtuvieron impactos positivos con la precipitación en las provincias de Carchi, Imbabura y Loja, con la temperatura máxima en Azuay, Chimborazo y Esmeraldas, y con la temperatura mínima en Azuay, Bolívar, Carchi, Esmeraldas, Guayas, y Manabí. Mientras los impactos negativos se presentarían con la precipitación en Manabí, y con la temperatura máxima en Cotopaxi y El Oro, (Figura 54). Se presentaría un mayor impacto en Cotopaxi con un coeficiente de -0,8972 con la temperatura máxima de enero, y en Carchi con un coeficiente de 0,4467 con la temperatura máxima de junio (Tabla 14). Para este tipo de maíz, los modelos con mejor ajuste son para las provincias de Carchi y Esmeraldas, y se lo observa a través de las series observadas y estimadas por el modelo en la Figura 55C, Figura 55F.

TABLA 14: MODELOS DE RENDIMIENTO DEL MAÍZ DURO CULTIVO SOLO

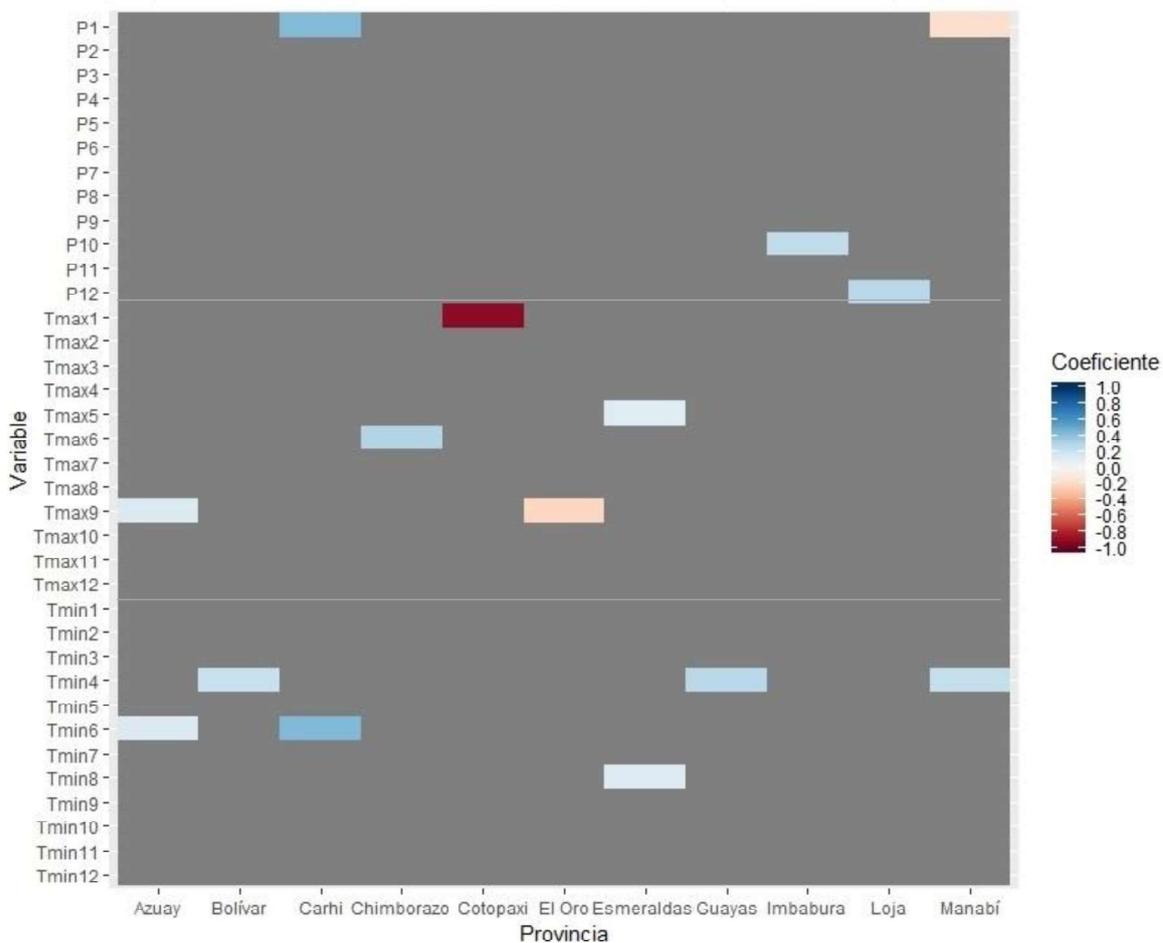
Provincia	Modelo	$R^2$	$R^2_{ajustado}$	Error estándar residuos	p-valor	n
Azuay	$y_1 = 0.68892 + 0.14370T_{max9} + 0.13984T_{min6}$	0.6868	0.6241	0.1388	0.0030	14
Bolívar	$y_2 = 1.1347 + 0.2276 T_{min4}$ $y_2$ no presenta significancia estadística en sus argumentos	0.1942	0.1209	0.5005	0.1318	13
Cañar	SM					
Carchi	$y_3 = 1.4637 + 0.4389P_1 + 0.4467 T_{min6}$ $y_3$ presenta autocorrelación negativa de residuos	0.7425	0.6781	0.4644	0.0044	12
Chimborazo	$y_4 = 0.66048 + 0.29821T_{max6}$ $y_4$ presenta autocorrelación negativa de residuos	0.5666	0.5272	0.2772	0.0030	13
Cotopaxi	$y_5 = 2.3338 - 0.8972T_{max1}$ $y_5$ presenta autocorrelación negativa de residuos	0.5803	0.5453	0.7941	0.0015	14
Imbabura	$y_6 = 1.01474 + 0.25150P_{10}$	0.5226	0.4791	0.2495	0.0052	13
Loja	$y_7 = 0.2797P_{12}$	0.2511	0.1886	0.5027	0.0680	14
Pichincha	SM					
El Oro	$y_8 = -0.2145T_{max9}$	0.5456	0.5043	0.2045	0.0039	13
Esmeraldas	$y_9 = 0.91014 + 0.12403T_{max5} + 0.12966T_{min8}$	0.707	0.6485	0.151	0.0022	13
Guayas	$y_{10} = 0.2782T_{min4}$	0.282	0.2221	0.4621	0.0507	14

Los Ríos SM

Manabí  $y_{11} = -0.1652P1 + 0.2347Tmin4$  0.6124 0.5419 0.285 0.0054 14

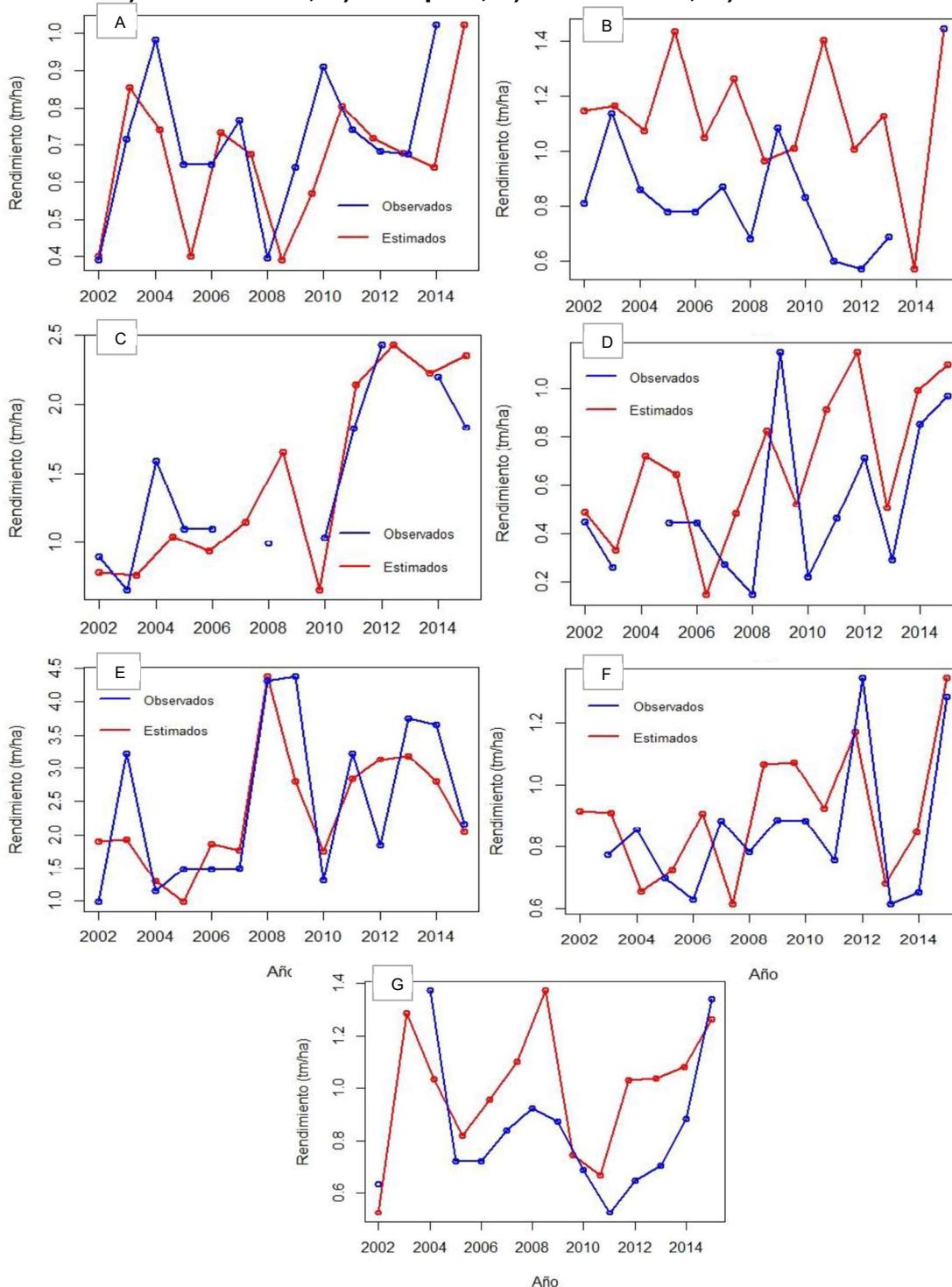
Elaborado por: Montoya Jacquelin

**Figura 54. Coeficientes de las variables explicativas en los modelos de maíz duro cultivo solo**



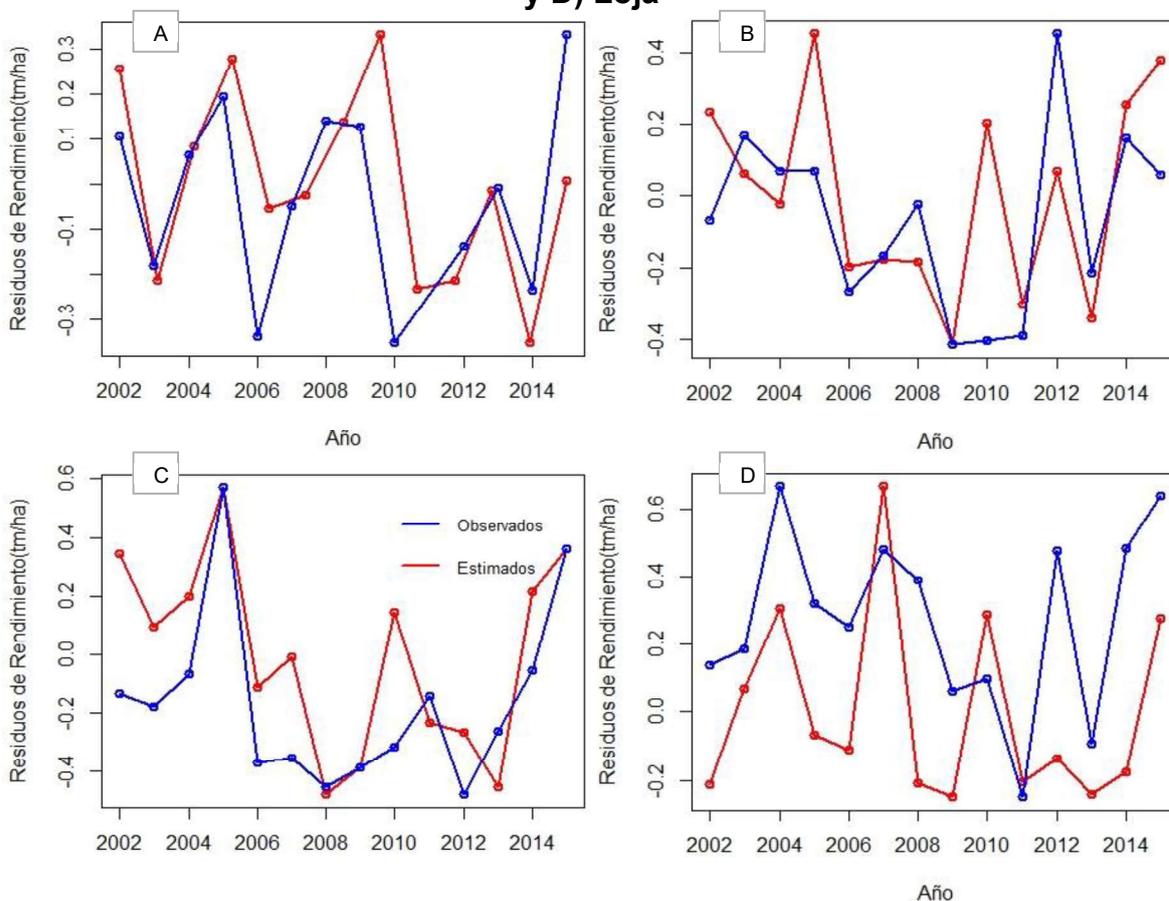
Elaborado por: Montoya Jacquelin

**Figura 55. Rendimientos observados vs Rendimientos estimados por los modelos para el maíz duro cultivo solo para A) Azuay, B) Bolívar, C) Carchi, D) Chimborazo, E) Cotopaxi, F) Esmeraldas, G) Imbabura**



Elaborado por: Montoya Jacquelin

**Figura 56. Rendimientos observados vs Rendimientos estimados por los modelos para el maíz duro cultivo solo para A) El Oro, B) Guayas, C) Manabí y D) Loja**



Elaborado por: Montoya Jacquelin

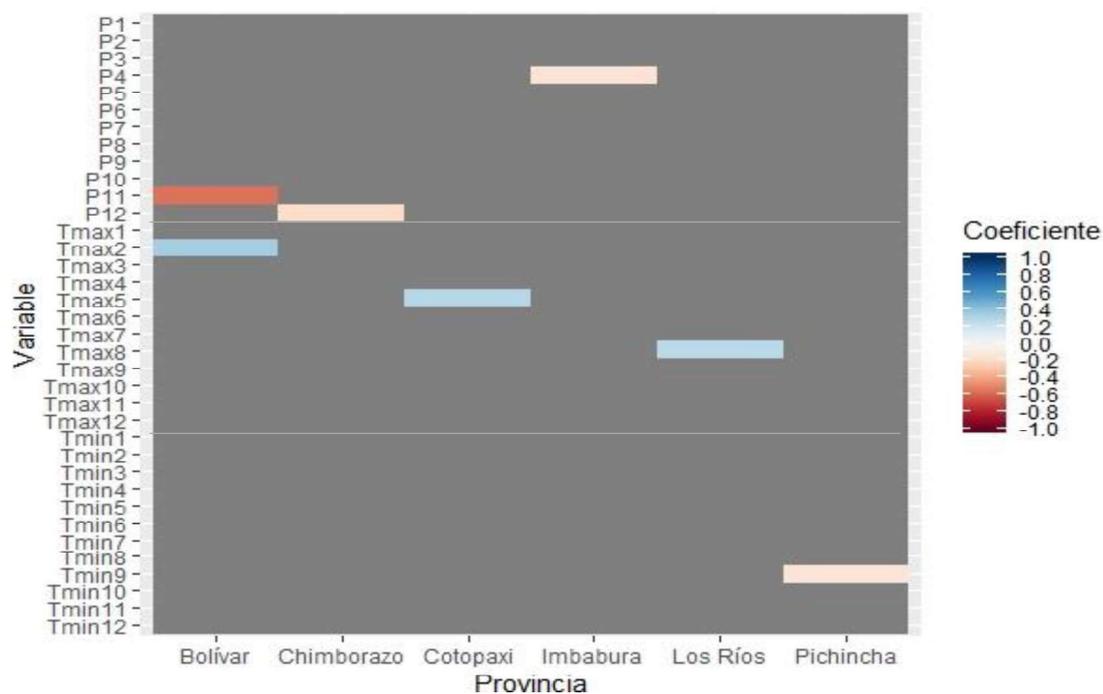
Finalmente, para el maíz duro cultivo asociado, se obtuvieron impactos positivos únicamente para la variable de temperatura máxima, en las provincias de Bolívar, Cotopaxi y Los Ríos, e impactos negativos principalmente de la precipitación, en Bolívar, Chimborazo, e Imbabura, y de la variable de temperatura mínima en Pichincha (Figura 57). Los impactos más fuertes se presentarían en Bolívar, con un coeficiente de -0,5522 con la precipitación del mes de noviembre, y en Bolívar igualmente para el impacto positivo, con un coeficiente de 0,345 con la temperatura máxima del mes de febrero (Tabla 15). Los mejores modelos en este caso, son los de Chimborazo y Pichincha, y se lo observa en la Figura 56B, y Figura 58F.

TABLA 15: MODELOS DEL RENDIMIENTO DEL MAÍZ DURO CULTIVO ASOCIADO

Provincia	Modelo	$R^2$	$R^2_{ajustado}$	Error estándar residuos	p-valor	n
Azuay	SM					
Bolívar	$y_1 = 1.0248 - 0.5522P_{11} + 0.3450T_{max2}$	0.7207	0.6699	0.4391	0.0009	14
Cañar	SM					
Chimborazo	$y_2 = -0.1812P_{12}$	0.9515	0.9418	0.0448	0.0002	7
Cotopaxi	$y_3 = 0.76266 + 0.28866T_{max5}$	0.5767	0.5297	0.2447	0.0067	11
Imbabura	$y_4 = 0.47233 - 0.14017P_4$ $y_4$ presenta autocorrelación negativa de residuos	0.5739	0.5313	0.1209	0.0043	12
Loja	SM					
Pichincha	$y_5 = 0.45223 - 0.13016T_{min9}$	0.7707	0.7452	0.0833	0.0004	12
El Oro	SM					
Esmeraldas	SM					
Guayas	SM					
Los Ríos	$y_6 = 0.2746T_{max8}$	0.3314	0.2757	0.406	0.0312	14
Manabí	SM					

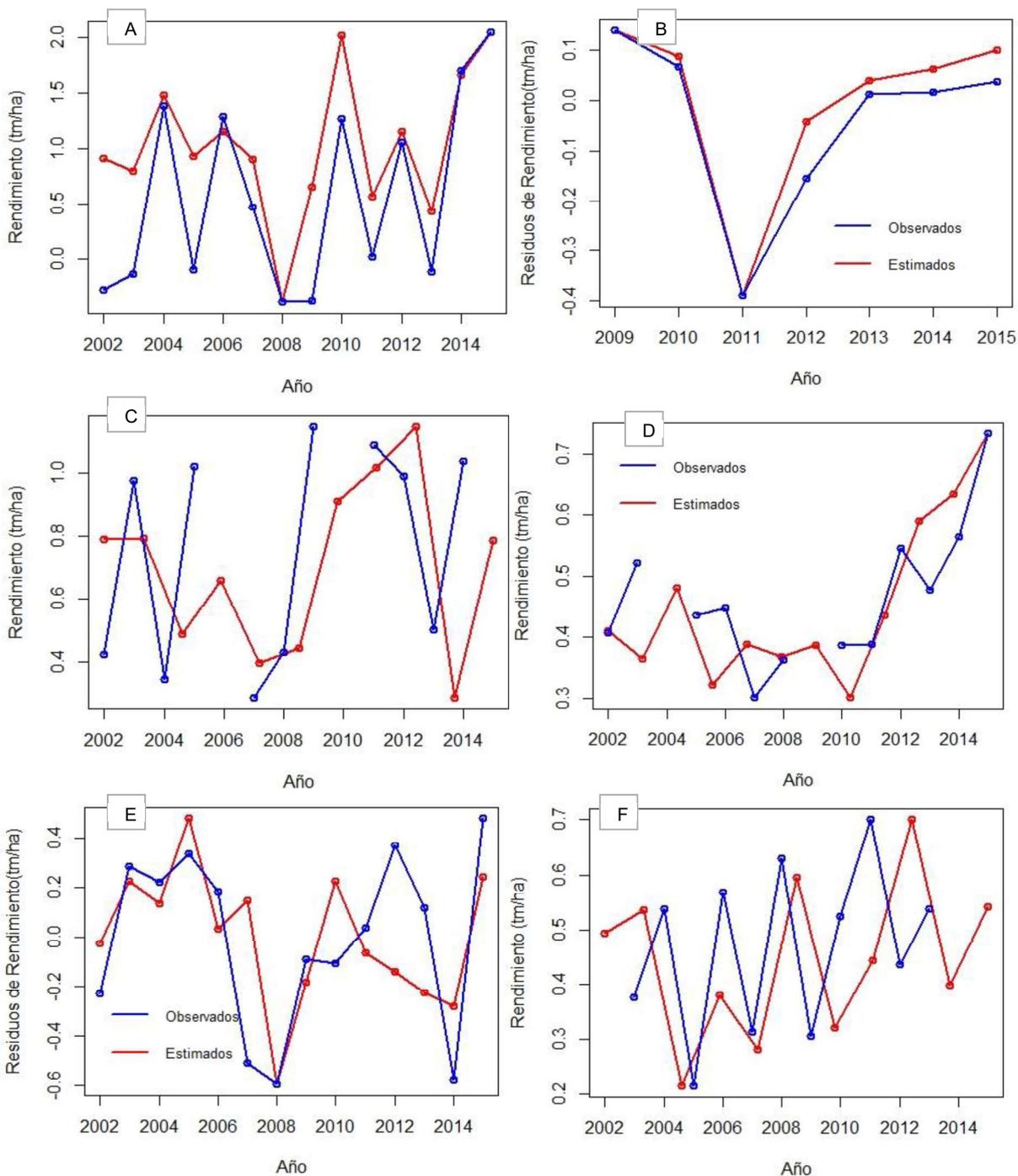
Elaborado por: Montoya Jacquelin

Figura 57. Coeficientes de los modelos de maíz duro cultivo asociado



Elaborado por: Montoya Jacquelin

**Figura 58. Rendimientos observados vs Rendimientos estimados por los modelos para el maíz duro cultivo asociado para A) Bolívar, B) Chimborazo, C) Cotopaxi, D) Imbabura, E) Los Ríos y F) Pichincha**



Elaborado por: Montoya Jacquelin

### 4.3.3 Comparación del desempeño de modelos de rendimiento del cultivo de maíz

La precipitación, la temperatura máxima y la temperatura mínima, durante el desarrollo del cultivo, explican a nivel global el 47% de la variación interanual del rendimiento del maíz (Lobell & Field, 2007). Sin embargo, a nivel local el clima influye sobre los rendimientos del maíz de diferentes maneras. Es así que de la literatura revisada, por ejemplo, la variación del rendimiento de maíz se atribuye a las variables climáticas en 18,9% para un distrito en Ghana, 34,7% para un distrito en Nepal, en 51,9% para un distrito en Zambia, entre 45,3% y 55,9% para localidades de la región pampeana en Argentina, y entre 90,8% y 99,5% en los departamentos de Cusco y Apurímac en Perú (Chabala et al., 2015; Llano & Vargas, 2011; Peprah, 2014; Poudel & Shaw, 2016; SENAMHI, 2013).

A través del coeficiente de determinación ajustado, en este estudio se obtuvo como resultados que las variables climáticas explican en promedio 48,49%, 32,68%, 46,18% y 61,56% de la variabilidad del rendimiento del maíz suave solo, suave asociado, duro solo y duro asociado, respectivamente (Tabla 16).

Esto indica que, en promedio, el clima explica aproximadamente la misma variabilidad del rendimiento para el tipo de cultivo solo, tanto para el maíz suave como para el duro. Sin embargo, para los cultivos de tipo asociado no existe esta similitud; el clima explica de mejor manera el rendimiento del maíz duro mientras que para el rendimiento del maíz suave existen otras variables de mayor influencia que el clima. Esta situación podría darse debido al tipo de fréjol que se utiliza para asociarlo con cada tipo de maíz. Mientras que, para el maíz duro asociado se utiliza fréjol arbustivo, para el maíz suave asociado se utiliza fréjol voluble o trepador el cual posee una característica desfavorable de volcar la planta del maíz; y podría ser que al influir esta variable sobre el rendimiento, disminuye la importancia del clima (Basantes, 2015; Voyset, 2000).

De acuerdo a Haji (2013), el rendimiento no se explica adecuadamente por el clima cuando se obtiene un  $R^2$  menor a 0,13. De los modelos obtenidos, únicamente para el rendimiento de maíz duro cultivo solo en la provincia de Bolívar existiría esta situación. Por lo tanto, el resto de modelos brindan una óptima explicación de la variabilidad del rendimiento en función del clima.

TABLA 16: COMPARACIÓN DE LOS COEFICIENTES DE DETERMINACIÓN DE LOS MODELOS DE REGRESIÓN PARA LOS DIFERENTES TIPOS DE MAÍZ

Tipo de maíz	Tipo de cultivo	Provincia	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> promedio
Maíz suave	Solo	Bolívar	0,2787	0,4849
		Chimborazo	0,3397	
		Loja	0,3827	
		Carchi	0,4894	
		Tungurahua	0,6987	
		Imbabura	0,7200	
	Asociado	Pichincha	0,2005	0,3268
		Azuay	0,2472	
		Tungurahua	0,2542	
		Loja	0,2588	
		Imbabura	0,2629	
		Bolívar	0,2905	
		Cañar	0,3602	
		Cotopaxi	0,7400	
Maíz duro	Solo	Bolívar	0,1209	0,4618
		Loja	0,1886	
		Guayas	0,2221	
		Imbabura	0,4791	
		El Oro	0,5043	
		Chimborazo	0,5272	
		Manabí	0,5419	
		Cotopaxi	0,5453	
		Azuay	0,6241	
		Esmeraldas	0,6485	
		Carchi	0,6781	
		Asociado	Los Ríos	
	Cotopaxi		0,5297	
	Imbabura		0,5313	
	Bolívar		0,6699	
	Pichincha		0,7452	
	Chimborazo		0,9418	



Desempeño de los modelos de regresión

Elaborado por: Montoya Jacquelin

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 CONCLUSIONES

- Mediante la elaboración y análisis de la base de datos, se evidenció que durante el periodo 2002-2015, los rendimientos se presentan predominantemente en un rango de productividad bajo, con una mediana menor a 1,61 tm/ha para el maíz suave y menor a 3,18 tm/ha para el maíz duro.
- Se identificó que los rendimientos más bajos se encuentran en las provincias de la Sierra, principalmente Azuay y Cañar, con una mediana de rendimiento de hasta 1 tm/ha, para todos los tipos de cultivo de maíz analizados. Será necesaria asistencia técnica para el cultivo de maíz suave asociado en Azuay, pues aquí se presenta una de las mayores producciones, pero a la vez uno de los rendimientos más bajos para este tipo de cultivo (0,32 tm/ha).
- Para el maíz suave y duro, los rendimientos son menores para los cultivos asociados en comparación a los cultivos solos. Esta situación, se atribuiría a las correlaciones negativas entre el rendimiento de estos cultivos con la precipitación. Específicamente en las provincias de Pichincha, Cotopaxi, Bolívar, y Cañar para el rendimiento de maíz suave asociado, y en Imbabura, Bolívar y Chimborazo para el rendimiento de maíz duro asociado.
- Se determinó que la variación del rendimiento de maíz en general es explicada principalmente por la temperatura máxima, seguido por la temperatura mínima y en menor frecuencia por la precipitación.
- Las anomalías de la temperatura superficial del mar, usadas como indicador climático regional, presentaron correlaciones con el rendimiento de maíz únicamente en las provincias de Tungurahua, Cañar, Bolívar, y Chimborazo.
- Se encontró que la respuesta de los rendimientos frente al clima difiere dependiendo del tipo de cultivo (solo o asociado). Mientras que la precipitación genera un impacto negativo para los cultivos asociados, la

temperatura máxima y mínima no presenta un patrón general, presentando diversas relaciones con los rendimientos de los diversos tipos de maíz.

- Se comprobó la hipótesis de que el clima influye sobre los rendimientos del cultivo de maíz en Ecuador. Con los coeficientes de determinación, se identificó que las variables climáticas explican en promedio el 48,49% de la variabilidad del rendimiento del maíz suave cultivo solo y el 46,18% de la variabilidad del rendimiento del maíz duro cultivo solo. Por lo tanto, el clima explica aproximadamente la misma variabilidad del rendimiento para los cultivo solos.
- Debido a que el clima explica el 32,68% de la variabilidad del rendimiento del maíz suave cultivo asociado, y el 61,56% de la variabilidad del rendimiento del maíz duro cultivo asociado, se concluye que, el clima explica de mejor manera el rendimiento del maíz duro asociado. Para el rendimiento del maíz suave asociado además del clima, deben considerarse factores socioeconómicos u otros aspectos ambientales como por ejemplo el cultivo con el cual se siembra el maíz. Lo que concuerda con afirmaciones de la literatura que indican que el fréjol voluble generalmente sembrado con maíz suave genera una resistencia al riesgo climático, e influye sobre los rendimientos debido a volcamientos de la planta de maíz.
- Finalmente, los modelos indican que existe mayor vulnerabilidad de los rendimientos del cultivo de maíz frente a la variabilidad del clima en Carchi, Imbabura, Cotopaxi y Bolívar, para los rendimientos de maíz suave solo, maíz suave asociado, maíz duro solo y maíz duro asociado, respectivamente. Por lo tanto, es necesario direccionar esfuerzos en estas zonas geográficas para contrarrestar la influencia negativa del clima, disminuyendo o evitando las afectaciones sobre el rendimiento.

## **5.2 RECOMENDACIONES**

- En este estudio, al construir y analizar la base de datos de los indicadores agrícolas, evidenció que los datos de producción y rendimiento del cultivo de maíz a nivel nacional, presentados usualmente en documentos oficiales, muestran patrones que no permite identificar dificultades o potencialidades

específicas. Por lo tanto, comprender las características de cada zona productora de maíz a nivel provincial o incluso de ser posible en un nivel local más detallado, resultará indispensable para formular e implementar medidas que mejoren la producción.

- Además de la resolución espacial de la información, es también esencial considerar la resolución temporal, pues debería evitarse la caracterización de las zonas de mayor producción o mejor rendimiento en base a un año específico, siendo necesario un análisis histórico, el cual permita evaluar la evolución y los patrones de la data.
- La escasa disponibilidad espacial de información climática, generó la necesidad de utilizar métodos para estimar las variables climáticas en las zonas de producción. La precisión de estas estimaciones podría mejorarse utilizando métodos más sofisticados que los aplicados en este estudio, como el método de Kriging para la estimación de precipitación o el uso de imágenes satelitales para la estimación de la temperatura.
- Con el fin de mejorar la bondad de los modelos y favorecer su capacidad predictiva, para futuros estudios, es necesario contar con registros de periodos más largos. Por ello las instituciones encargadas de la data agrícola y climática, deben superar de manera audaz las dificultades administrativas y técnicas que se presenten, y así garantizar la generación de información esencial para la planificación del sector agrícola que incluye el riesgo climático.
- En el presente estudio se identificó el impacto de las variables climáticas mensuales sobre el rendimiento del cultivo de maíz. Sin embargo, los calendarios agrícolas no están bien definidos y, por lo tanto, el levantamiento de esta información podría mejorar la interpretación de los resultados al considerar características fenológicas del cultivo.
- Los resultados han demostrado que el clima explica en diferente medida la variabilidad del rendimiento del maíz. Quedaría por explorarse el impacto que tiene el clima sobre otros cultivos prioritarios en Ecuador, para de esta manera comprender y aplicar medidas que garanticen la soberanía alimentaria en el país.

- En las zonas en las cuales no se han hallado correlaciones con el clima, o en las que el clima explica poca variabilidad de los rendimientos del cultivo, es necesario estudiar otro tipo de relaciones, y otros aspectos ambientales o socio económicos, para identificar las variables que explican de mejor manera los rendimientos, como prácticas de manejo del cultivo, tipos de suelos, nutrientes, enfermedades del cultivo, políticas orientadas al sector agrícola, incentivos económicos entre otros.
- Se debe ampliar la investigación sobre umbrales de tolerancia en los cultivos, pues aunque en algunos casos se han obtenido correlaciones positivas, con las cuales incrementos en las variables climáticas podrían parecer beneficiosos, este comportamiento se rige al rango de datos utilizados para la generación de los modelos, y no prevee impactos con posibles cambios climáticos extremos.

## BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, L. (2007). Las heladas, problema frecuente en Cotopaxi. *El Universo*.
- Amat, J. (2016a). Regresión Lineal Múltiple en R. Retrieved September 28, 2019, from RPubs website: [https://rpubs.com/Joaquin\\_AR/226291](https://rpubs.com/Joaquin_AR/226291)
- Amat, J. (2016b). Selección de predictores y mejor modelo lineal múltiple: subset selection, ridge regression, lasso regression y dimension reduction. Retrieved September 28, 2019, from RPubs website: [https://rpubs.com/Joaquin\\_AR/242707](https://rpubs.com/Joaquin_AR/242707)
- Amat, J. (2016c). Validación de modelos de regresión: Cross-validation, OneLeaveOut, Bootstrap. Retrieved September 28, 2019, from RPubs website: [https://rpubs.com/Joaquin\\_AR/238251](https://rpubs.com/Joaquin_AR/238251)
- Andrango, D. (2018). *Determinación de la variabilidad climática mediante la aplicación de índices de cambio climático en el centro norte de la región interandina en el Ecuador*. Escuela Politécnica Nacional.
- Ashfaq, M., Zulfiqar, F., Sarwar, I., Quddus, A., & Ahmad, I. (2011). Impact of climate change on wheat productivity in mixed cropping system of Punjab. *Soil Science Society of Pakistan*, 30(2), 110–114.
- Balaghi, R., Jlibene, M., Tychon, B., & Eerens, H. (2013). Agrometeorological Cereal Yield Forecasting in Morocco. *International Journal of Water Resources Development*, 26(4), 157.
- Balaghi, R., Tychon, B., Eerens, H., & Jlibene, M. (2008). Empirical regression models using NDVI, rainfall and temperature data for the early prediction of wheat grain yields in Morocco. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 10(4), 438–452. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2006.12.001>
- Basantes, E. (2015). *Manejo de Cultivos Andinos Del Ecuador* (Primera; C. E. de la U. de las F. Armadas, Ed.). Sangolquí, Ecuador.
- Boada, R., & Espinoza, J. (2016). Factors affecting yield potential of open pollinated corn in small farmers' fields in the Ecuadorian highlands. *Siembra*, 3(1), 67–82.
- Bolaños, A. G. B., & Tapia, D. A. S. (2019). Agricultural productivity beyond the yield per hectare: Analysis of ecuadorian rice and hard corn crops. *Granja*, 29(1), 70–83. <https://doi.org/10.17163/lgr.n29.2019.06>
- Brendel, A. S., Bohn, V. Y., & Piccolo, M. C. (2017). Variabilidad de la precipitación y su relación con los rendimientos agrícolas en una región semiárida de la llanura pampeana (Argentina). *Estudios Geograficos*, 78(282), 7–29. <https://doi.org/10.3989/estgeogr.201701>
- Brunini, O., & Stingter, K. (2010). Agrometeorology of Some Selected Crops. In O. M. de Meteorología (Ed.), *Guide to Agricultural Meteorological Practices* (2010th ed., Vol. 103, p. 799). <https://doi.org/10.1590/S0103-90162008000700016>

- Capa, M., Rodríguez, B., & Ruiz, M. (2014). Impactos de la variabilidad climática en los cultivos de verano en regadío mediterráneos. In *VIII Congreso Internacional AEC - AECLIM*.
- CEPAL, IICA, & FAO. (2011). *Agricultura y cambio climático: instituciones, políticas e innovación*.
- Chabala, L. M., Kuntashula, E., Kaluba, P., & Miyanda, M. (2015). *Assessment of Maize Yield Variations Due to Climatic Variables of Rainfall and Assessment of Maize Yield Variations Due to Climatic Variables of Rainfall and Temperature*. (October). <https://doi.org/10.5539/jas.v7n11p143>
- Chmielewski, F. M., & Potts, J. M. (1995). The relationship between crop yields from an experiment in southern England and long-term climate variations. *Agricultural and Forest Meteorology*, 73(1–2), 43–66. [https://doi.org/10.1016/0168-1923\(94\)02174-I](https://doi.org/10.1016/0168-1923(94)02174-I)
- Dahlman, L. (2016). Climate Variability: Oceanic Niño Index. Retrieved July 11, 2019, from NOAA News & Features website: <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-variability-oceanic-niño-index>
- De Luque Söllheim, A. (2011). Cualificación y homogenización de las series climáticas mensuales de precipitación de Canarias. *Memoria Técnica Gobierno de Canarias*, (11008).
- Diamond, J. (2007). *Armas, gérmenes y acero* (1st ed.).
- Dinse, K. (2018). Climate Variability and Climate Change WHAT IS THE DIFFERENCE? In *Michigan Sea Grant*.
- Drewniak, B., Song, J., Prell, J., Kotamarthi, V. R., & Jacob, R. (2013). Modeling agriculture in the Community Land Model. *Geoscientific Model Development*, 6(2), 495–515. <https://doi.org/10.5194/gmd-6-495-2013>
- ESRI. (2016). IDW. Retrieved July 13, 2019, from <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/idw.htm>
- FAO. (2016a). *Agricultura sostenible: Una herramienta para fortalecer la seguridad alimentaria y nutricional en América Latina y el Caribe*.
- FAO. (2016b). Ahorrar para crecer en la Práctica: maíz, arroz, trigo. In *Guía para la producción sostenible de cereales*. Roma, Italia. 124.
- FAO. (2016c). El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Cambio climático, agricultura y seguridad alimentaria. In *Organizacion de las Naciones Unidas Para La Alimentacion y La Agricultura*. Roma, Italia.
- FAO. (2016d). Recursos hídricos Ecuador. Retrieved July 29, 2019, from AQUASTAT - Sistema de Información sobre el Uso del Agua en la Agricultura de la FAO website: [http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries\\_regions/ECU/indexesp.stm](http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/ECU/indexesp.stm)
- FAO. (2017). FAOSTAT. Retrieved February 15, 2018, from

- <http://www.fao.org/faostat/en/#compare>
- Fassio, A., Carriquiry, A., Tojo, C., & Romero, R. (1998). *Maíz: Aspectos sobre fenología* (Unidad de difusión e información tecnológica del INIA, Ed.). Montevideo, Uruguay.
- Filmer, A. (2016). Maize genetics may show how crops adapt to climate change. Retrieved February 21, 2019, from Food & Agriculture website: <https://www.ucdavis.edu/news/maize-genetics-may-show-how-crops-adapt-climate-change>
- Gómez, J., Etchevers, J., Monterroso, A., Gay, C., Campo, J., & Martínez, M. (2008). Spatial estimation of mean temperature and precipitation in areas of scarce meteorological information. *Atmósfera*, 21(1), 35–56.
- Guijarro, J. (2004). Climatol: Software libre para la depuración y homogeneización. *Asociación Española de Climatología y Universidad de Cantabria*, 4(August), 493–502.
- Guijarro, J. (2018). Climatol: Climate Tools (Series Homogenization and Derived Products). Retrieved September 13, 2018, from CRAN website: <https://cran.r-project.org/web/packages/climatol/index.html>
- Guijarro, J., Domonkos, P., López, J. A., Aguilar, E., & Brunet, M. (2016). Comparación de métodos de homogeneización de series: primeros resultados del proyecto MULTITEST. *Clima, Sociedad, Riesgos y Ordenación Del Territorio, Congreso*, 131–140. <https://doi.org/10.14198/xcongresoacalicante2016-12>
- Haji, S. J. (2013). *Assessment of effects of climate variability on maize production in Mbeya region*.
- Hebbali, A. (2018). Package “olsrr.” Retrieved September 28, 2019, from CRAN website: <https://cran.r-project.org/web/packages/olsrr/olsrr.pdf>
- Hengl, T. (2006). Finding the right pixel size. *Computers and Geosciences*, 32(9), 1283–1298. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2005.11.008>
- Hijmans, R., Etten, J. van, Sumner, M., Cheng, J., Bevan, A., Bivand, R., ... Greenberg, J. (2019). Package “raster.”
- Houghton, D. D. (2002). WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION INTRODUCTION TO CLIMATE CHANGE : LECTURE NOTES FOR Prepared by. In *World*. Ginebra, Suiza: WMO.
- Huang, C., Duiker, S. W., Deng, L., Fang, C., & Zeng, W. (2015). Influence of precipitation on maize yield in the eastern United States. *Sustainability (Switzerland)*, 7(5), 5996–6010. <https://doi.org/10.3390/su7055996>
- Huho, J., Khaoma, J., & Ogindo, H. (2012). The changing rainfall pattern and the associated impacts on subsistence agriculture in Laikipia East District, Kenya. *Journal of Geography and Regional Planning*, 5(7), 198–206. <https://doi.org/10.5897/jgrp12.018>
- Iizumi, T., & Ramankutty, N. (2015). How do weather and climate influence cropping area and intensity? *Global Food Security*, 4, 46–50.

<https://doi.org/10.1016/j.gfs.2014.11.003>

INEC. (2000). *Censo Nacional Agropecuario*.

INEC. (2018). Estadísticas Agropecuarias. Retrieved November 20, 2019, from Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua website: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas-agropecuarias-2/>

INIAP. (2014a). Maíz duro. Retrieved June 25, 2019, from <http://tecnologia.iniap.gob.ec/index.php/explore-2/mcereal/rmaizd>

INIAP. (2014b). Maíz suave. Retrieved June 25, 2019, from <http://tecnologia.iniap.gob.ec/index.php/explore-2/mcereal/rmaizs>

INIAP. (2015). *Producción de semillas categoría certificada para el Proyecto Nacional de*

*Semillas de Agrocladenas Estratégicas del MAGAP.*

Jiménez, S., Castro, L., Yépez, J., & Wittmer, C. (2012). *Impacto del cambio climático en la agricultura de subsistencia en el Ecuador*. Madrid, España.

Kennedy, H. (2009). *Introduction to 3D Data Modeling with ArcGIS*. New Jersey, Estados Unidos.

Lavell, A., & Witkowski, K. (2017). *Gestión del riesgo y adaptación de la agricultura y el medio rural al cambio climático*.

Llano, M. P., & Vargas, W. (2011). Relación clima-rendimiento del maíz mediante el uso de un modelo estadístico - PDF. *XVII Congreso Brasileiro de Agrometeorología*, 5.

Lobell, D. B., Cahill, K. N., & Field, C. B. (2007). Historical effects of temperature and precipitation on California crop yields. *Climatic Change*, 81(2), 187–203. <https://doi.org/10.1007/s10584-006-9141-3>

López, A. (2015). *Cambio climático y actividades agropecuarias en América Latina*. Santiago, Chile. 74.

MAE. (2017). *Tercera Comunicación Nacional del Ecuador*. 625.

MAG. (2016). *La política Agropecuaria Ecuatoriana. Hacia el desarrollo territorial rural sostenible 2015-2025 Parte, I*. Quito, Ecuador.

MAG. (2018). Cultivo 2014. Retrieved November 25, 2018, from Geoportal del Agro Ecuatoriano website: <http://geoportal.agricultura.gob.ec/>

MAGAP. (2015a). Boletín situacional Maíz Duro Seco. *Sistema de Información Nacional (SNI)*, 1–7.

MAGAP. (2015b). Boletín situacional Maíz Suave Choclo. *Sistema de Información Nacional (SNI)*, 1–6.

Martínez, L. (2013). *La Agricultura Familiar en el Ecuador. Serie Documentos de Trabajo N° 147. Grupo de Trabajo: Desarrollo con Cohesión Territorial. Programa Cohesión Territorial para el Desarrollo*. Santiago, Chile. 39.

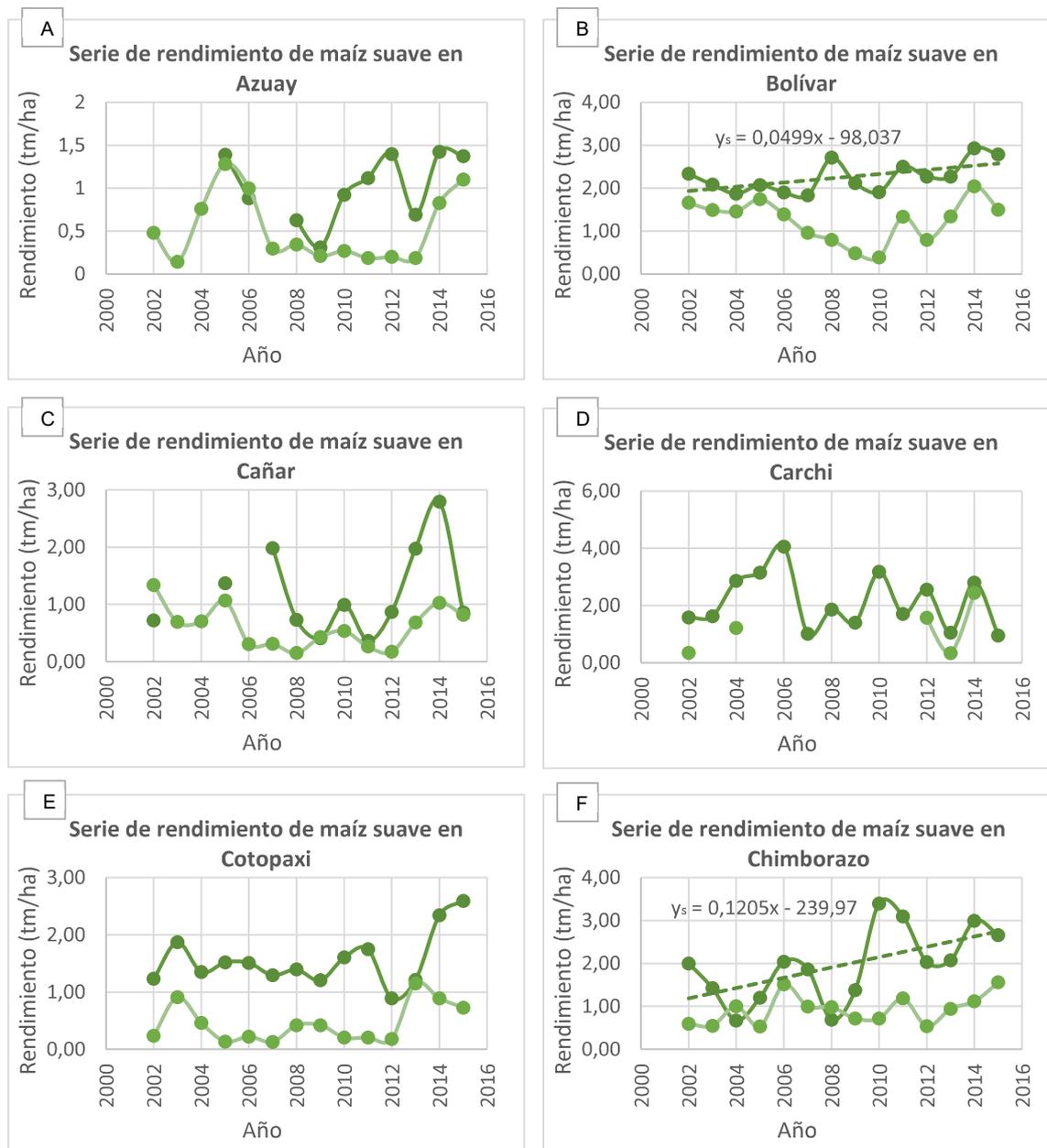
- Mendelsohn, R. (2008). The impact of climate change on agriculture in developing countries. *Journal of Natural Resources Policy Research*, 1(1), 5–19. <https://doi.org/10.1080/19390450802495882>
- Milošević, D. D., Savić, S. M., Stojanović, V., & Popov-Raljić, J. (2015). Effects of precipitation and temperatures on crop yield variability in vojvodina (Serbia). *Italian Journal of Agrometeorology*, 20(3), 35–46.
- Moreano, R. (2008). *Sistema de información para la interpolación espacial y temporal de datos sobre el tiempo atmosférico y el clima del Ecuador*. Escuela Politécnica Nacional.
- Mourtzinis, S., Rattalino, J. I., Conley, S. P., & Grassini, P. (2017). From grid to field: Assessing quality of gridded weather data for agricultural applications. *European Journal of Agronomy*, 82, 163–172. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.10.013>
- NOAA. (2018). *Climate Variability vs . Climate Change*.
- ONU. (2018). *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible Una oportunidad para América Latina y el Caribe (LC/G.2681-P/Rev.3)*. Santiago, Chile. 93.
- Orellana, L. (2001). *Estadística Descriptiva*.
- Orrego, R., Ávila, A., Meza, F., & Matus, F. (2014). Using a crop simulation model to select the optimal climate grid cell resolution: A study case in Araucanía Region. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 14(2), 407–420. <https://doi.org/10.4067/s0718-95162014005000032>
- Paliwal, R., Granados, G., Honor, R., & Violic, A. (2001). El maíz en los trópicos: Mejoramiento y producción. In *Fao*. <https://doi.org/Deposito de Documentos de la FAO>
- Park, J.-K., Das, A., & Park, J.-H. (2018). Integrated model for predicting rice yield with climate change. *International Agrophysics*, 32(2), 203–215. <https://doi.org/10.1515/intag-2017-0010>
- Peprah, K. (2014). Rainfall and Temperature Correlation with Crop Yield : The Case of Asunafo Forest , Ghana. *International Journal of Science and Research*, 3(5), 784–789.
- Pilataxi, C. (2016). *Módulo Ambiental de la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua ESPAC 2016*.
- Pilco, P. (2017). *Impacto del cambio climático en la producción de papa y maíz en la comunidad de Pululahua*. Universidad de las Fuerzas Armadas.
- Poudel, S., & Shaw, R. (2016). The Relationships between Climate Variability and Crop Yield in a Mountainous Environment: A Case Study in Lamjung District, Nepal. *Climate*, 4(1), 13. <https://doi.org/10.3390/cli4010013>
- Ritchie, S., Hanway, J., & Benson, G. (1997). How a corn plant develops.; Spec. Publ. 48. In *Iowa Agricultural and Home Economics Experiment Station*

- Publications* (Vol. 48). Ames, Estados Unidos. 17.
- Rueda, V., Kunapuli, S., & Maignashca, J. (2015). Development of yield prediction models in the maize crop using spectral data for precision agriculture applications. *Ecuador Es Calidad*, 2(1), 16–22.
- Rusinamhodzi, L., Corbeels, M., Van Wijk, M. T., Rufino, M. C., Nyamangara, J., & Giller, K. E. (2011). A meta-analysis of long-term effects of conservation agriculture on maize grain yield under rain-fed conditions. *Agronomy for Sustainable Development*, 31(4), 657–673. <https://doi.org/10.1007/s13593-011-0040-2>
- SENAMHI. (2013). Variabilidad climática: percepciones e impacto en los cultivos de papa y maíz amiláceo en la subcuenca del río Shullcas, Junin. *Praaperú*, 2, 40.
- Serratos, J. (2007). *El origen y la diversidad del maíz en el continente americano 2007*. 33.
- Sprague, E., & Paliwal, R. (1984). CIMMYT ' s maize improvement programme. *Outlook on Agriculture*, 13(1), 24–31. <https://doi.org/doi:10.1177/003072708401300104>
- Suquilanda, M. (2018). Producción orgánica de maíz. *Cultura Orgánica*, 26–35.
- Travasso, M. I., Magrin, G. O., & Rodríguez, G. R. (2003). Relations between sea-surface temperature and crop yields in Argentina. *International Journal of Climatology*, 23(13), 1655–1662. <https://doi.org/10.1002/joc.957>
- Varela, A., & Ron, S. (2018). Geografía y clima del Ecuador. Retrieved July 11, 2019, from  
 BIOWEB. Pontificia Universidad Católica del Ecuador website: <https://bioweb.bio/faunaweb/amphibiaweb/GeografiaClima/>
- Villacis, M., Taupin, J. D., Heredia, E., Palacios, E., & Palacios, J. (2003). Variabilité climatique dans la sierra équatorienne en relation avec le phénomène ENSO. *Hydrology of the Mediterranean a Semiarid Regions*, (278), 202–208.
- Voyset, O. (2000). *Un Cultivo Ancestral Avanza a la Modernidad Tiempo de Transición: 1988-1999 - Google Libros*.
- Wang, H., Zhang, R., Cole, J., & Chavez, F. (1999). El Niño and the related phenomenon Southern Oscillation (ENSO): the largest signal in interannual climate variation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 96(20), 11071–11072.
- WMO. (2011). Guía de prácticas climatológicas. In *Organización Meteorológica Mundial* (Vol. 100). <https://doi.org/OMM-Nº 168>
- WMO. (2014). El Niño/Oscilación del Sur. *Tiempo, Clima y Agua*, 1145, 12.
- WMO. (2019). Climate, climate variability and climate change. Retrieved July 8, 2019, from <http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/ccl/faqs.php>
- Yáñez, C., Zambrano, J., Caicedo, M., & Heredia, J. (2013). *El cultivo de maíz de altura*. (96).

- Yang, X., Xie, X., Liu, D. L., Ji, F., & Wang, L. (2015). Spatial Interpolation of Daily Rainfall Data for Local Climate Impact Assessment over Greater Sydney Region. *Advances in Meteorology*, 2015(2), 1–12. <https://doi.org/10.1155/2015/563629>
- Zambrano, J., Villavicencio, P., Caicedo, M., Alarcón, D., Zambrano, E., Egeuz, J., & Yanez, C. (2015). Análisis y proyecciones del rendimiento promedio del maíz amarillo duro en Ecuador y sus implicaciones para el mejoramiento genético en el INIAP. *Reunión Latinoamericana de Maíz XXI*, 74–78. Santa Cruz, Bolivia.
- Zari, B. (2014). *La Universidad Católica de Loja Certificación*. Universidad Técnica Particular de Loja.
- Zhu, X. (Earth scientist). (2016). *GIS for environmental applications: a practical approach*.

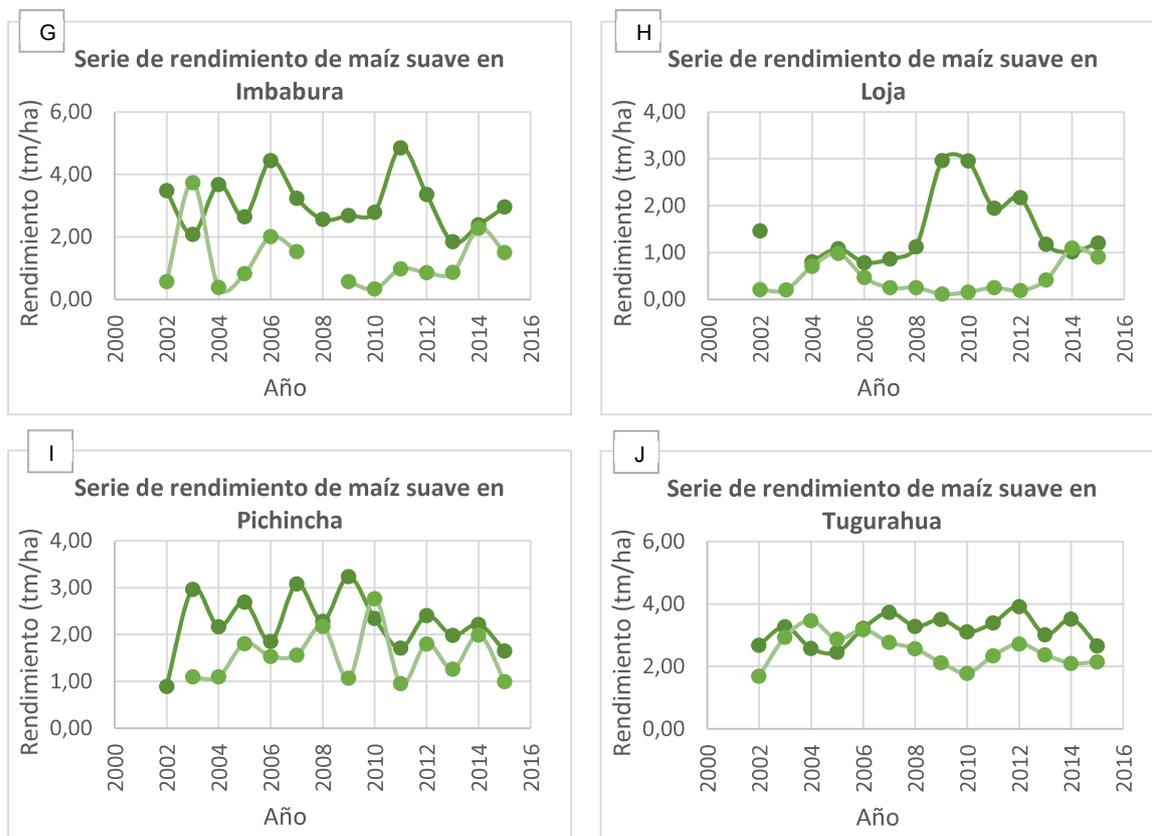
## ANEXOS

## ANEXO 1. SERIES DE RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE MAÍZ SUAVE, PERIODO 2002-2015.



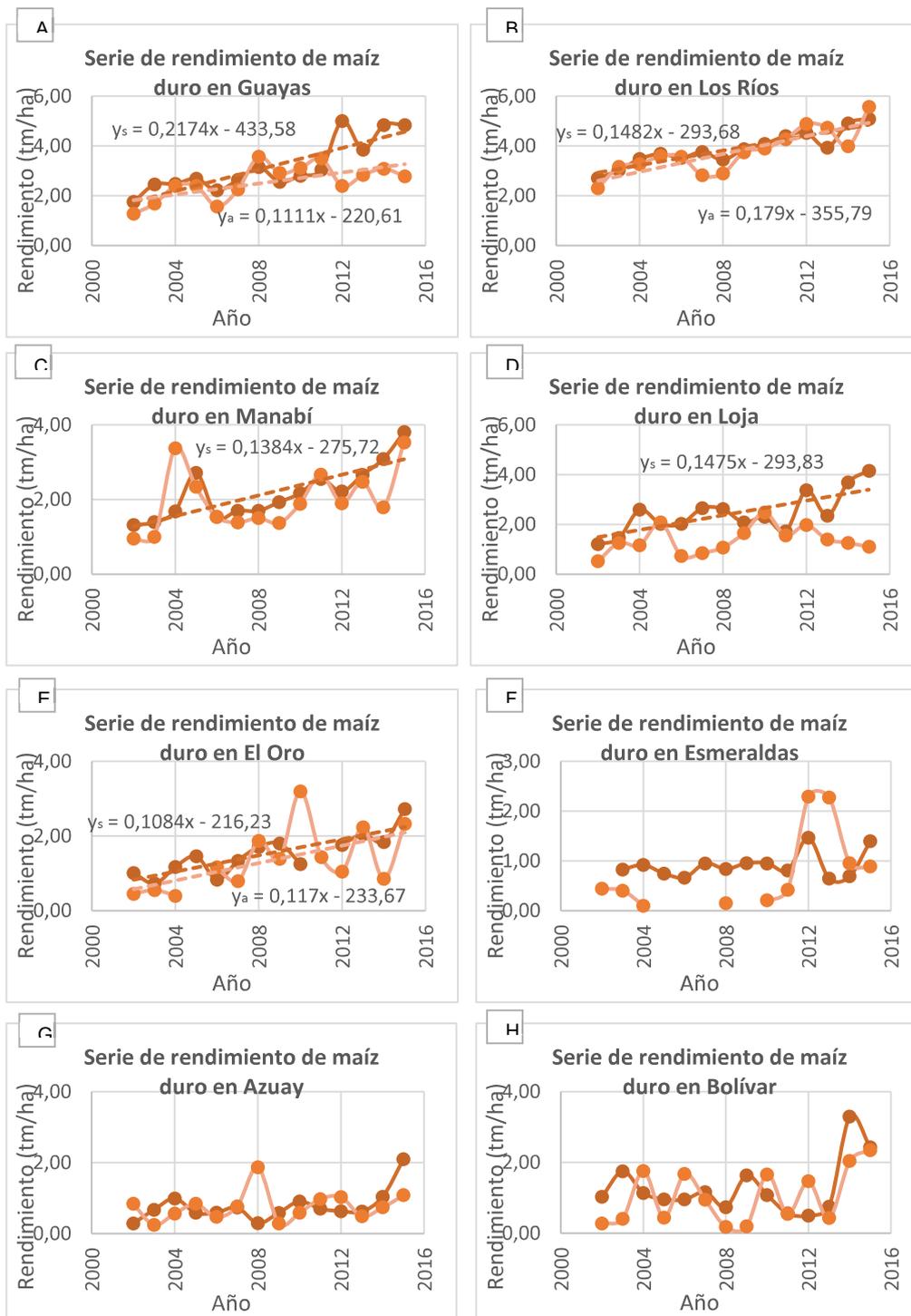
● Rendimiento cultivo solo    ● Rendimiento cultivo asociado

## CONTINUACIÓN ANEXO 1. SERIES DE RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE MAÍZ SUAVE, PERIODO 2002-2015

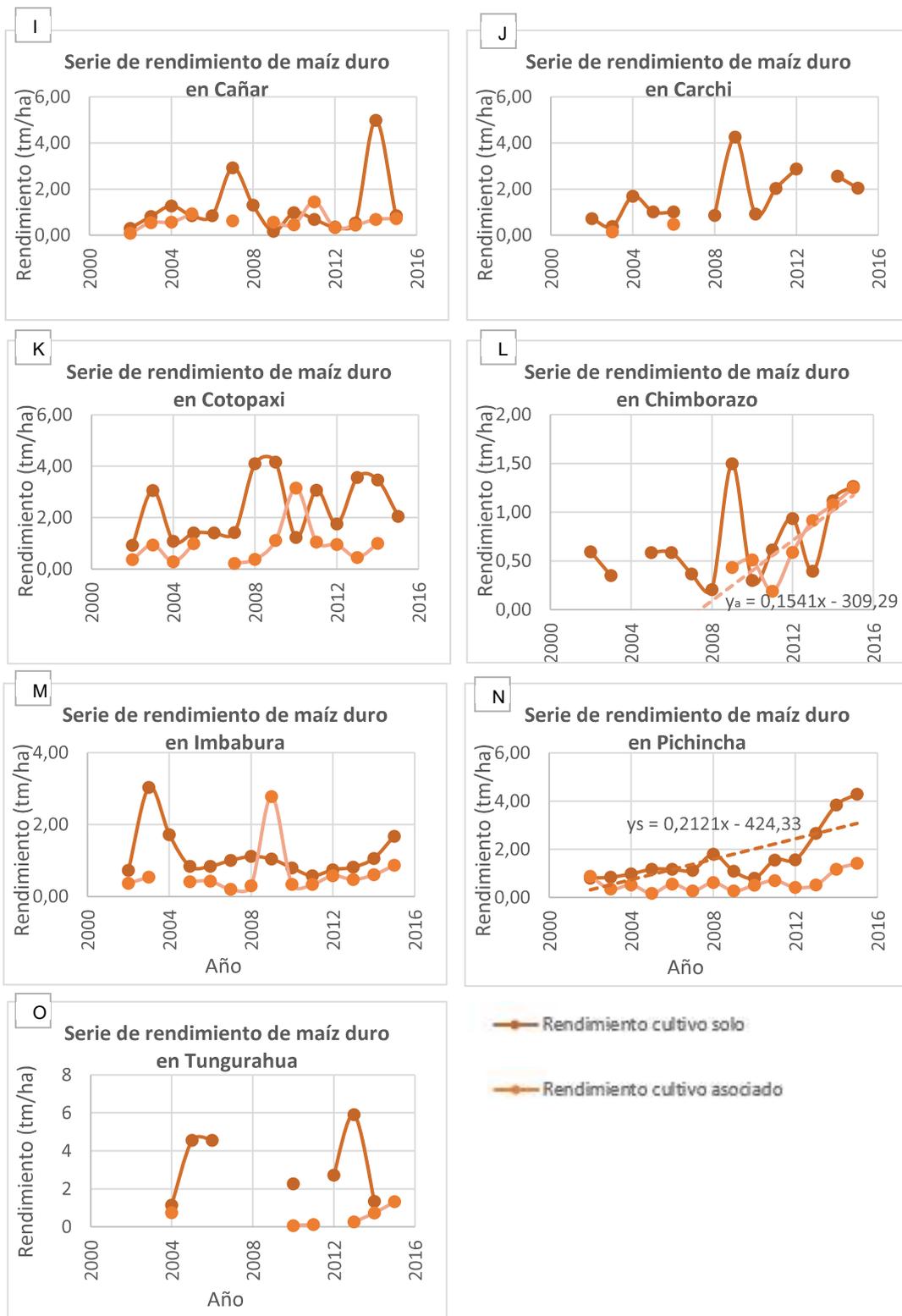


—●— Rendimiento cultivo solo    - - - ● - - - Rendimiento cultivo asociado

ANEXO 2. SERIES DE RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE MAÍZ DURO, PERIODO 2002-2015



CONTINUACIÓN ANEXO 2. SERIES DE RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE MAÍZ DURO, PERIODO 2002-2015



ANEXO 3. RESULTADOS DE LA PRUEBA DE NORMALIDAD SHAPIRO WILKS,  
PARA LAS SERIES DE RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE MAÍZ SUAVE,  
CULTIVO SOLO.

Provincia	W	p-valor	Distribución
Azuay	0,8998	0,218	Normal
Bolívar	0,91676	0,1974	Normal
Cañar	0,88209	0,1106	Normal
Carchi	0,92398	0,2508	Normal
Cotopaxi	0,90345	0,1266	Normal
Chimborazo	0,9524	0,5986	Normal
Imbabura	0,95068	0,5713	Normal
Loja	0,8192	0,01163	<b>No normal</b>
Pichincha	0,97007	0,8775	Normal
Tungurahua	0,95996	0,7225	Normal

ANEXO 4. RESULTADOS DE LA PRUEBA DE NORMALIDAD SHAPIRO WILKS,  
PARA LAS SERIES DE RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE MAÍZ SUAVE,  
CULTIVO ASOCIADO.

Provincia	W	p-valor	Distribución
Azuay	0,84041	0,0165	<b>No Normal</b>
Bolívar	0,9451	0,4875	Normal
Cañar	0,94031	0,4224	Normal
Carchi	0,91113	0,4744	Normal
Cotopaxi	0,84339	0,01809	<b>No Normal</b>
Chimborazo	0,90852	0,15	Normal
Imbabura	0,84047	0,02149	<b>No Normal</b>
Loja	0,81784	0,008366	<b>No Normal</b>
Pichincha	0,90558	0,1595	Normal
Tungurahua	0,97694	0,9531	Normal

ANEXO 5. RESULTADOS DE LA PRUEBA DE NORMALIDAD SHAPIRO WILKS,  
PARA LAS SERIES DE RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE MAÍZ DURO,  
CULTIVO SOLO.

Provincia	W	p-valor	Distribución
Azuay	0,75562	0,001484	<b>No Normal</b>
Bolívar	0,82715	0,01103	<b>No Normal</b>
Cañar	0,68274	0,0002462	<b>No Normal</b>
Carchi	0,89941	0,1559	Normal
Cotopaxi	0,87594	0,05089	Normal
Chimborazo	0,89083	0,1001	Normal
Imbabura	0,72238	0,0006362	<b>No Normal</b>
Loja	0,94917	0,5479	Normal

Pichincha	0,75753	0,00156	<b>No Normal</b>
Tungurahua	0,92027	0,4715	Normal
El Oro	0,96002	0,754	Normal
Esmeraldas	0,82333	0,01308	<b>No Normal</b>
Guayas	0,86204	0,03249	<b>No Normal</b>
Los Ríos	0,97648	0,9492	Normal
Manabí	0,92516	0,2606	Normal

ANEXO 6. RESULTADOS DE LA PRUEBA DE NORMALIDAD SHAPIRO WILKS, PARA LAS SERIES DE RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE MAÍZ DURO, CULTIVO ASOCIADO.

Provincia	W	p-valor	Distribución
Azuay	0,89188	0,08604	Normal
Bolívar	0,87404	0,04783	<b>No Normal</b>
Cañar	0,90057	0,1613	Normal
Cotopaxi	0,70985	0,00105	<b>No Normal</b>
Chimborazo	0,95801	0,8015	Normal
Imbabura	0,54127	2,129e-05	<b>No Normal</b>
Loja	0,96937	0,8681	Normal
Pichincha	0,89327	0,09012	Normal
Tungurahua	0,89679	0,3553	Normal
El Oro	0,92338	0,2785	Normal
Esmeraldas	0,77371	0,00694	<b>No Normal</b>
Guayas	0,95422	0,6279	Normal
Los Ríos	0,98044	0,9773	Normal
Manabí	0,92487	0,2582	Normal

ANEXO 7. RESULTADOS DE LA PRUEBA DE SIGNIFICANCIA DE LA TENDENCIA DE LAS SERIES DE RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE MAÍZ SUAVE, CULTIVO SOLO.

Provincia	Estadístico	p-valor	Tendencia significativa
Azuay	0,874	0,408	No
<b>Bolívar</b>	<b>2,499</b>	<b>0,028</b>	<b>Sí</b>
Cañar	0,803	0,443	No
Carchi	-0,723	0,484	No
Cotopaxi	1,437	0,176	No
<b>Chimborazo</b>	<b>2,543</b>	<b>0,0258</b>	<b>Sí</b>
Imbabura	-0,532	0,604	No
Loja	0,205	0,36012	No
Pichincha	-0,202	0,843	No
Tungurahua	1,189	0,257	No

ANEXO 8. RESULTADOS DE LA PRUEBA DE SIGNIFICANCIA DE LA TENDENCIA DE LAS SERIES DE RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE MAÍZ SUAVE, CULTIVO ASOCIADO.

Provincia	Estadístico	p-valor	Tendencia significativa
Azuay	-0,0989	0,66142	No
Bolívar	-0,394	0,700	No
Cañar	-0,793	0,443	No
Carchi	1,298	0,219	No
Cotopaxi	0,0769	0,74256	No
Chimborazo	1,613	0,133	No
Imbabura	0,154	0,50216	No
Loja	0,121	0,58407	No
Pichincha	0,242	0,813	No
Tungurahua	-1,451	0,172	No

ANEXO 9. RESULTADOS DE LA PRUEBA DE SIGNIFICANCIA DE LA TENDENCIA DE LAS SERIES DE RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE MAÍZ DURO, CULTIVO SOLO.

Provincia	Estadístico	p-valor	Tendencia significativa
Azuay	0,331	0,11184	No
Bolívar	-0,0442	0,86935	No
Cañar	0,0442	0,86935	No
Carchi	2,174	0,0548	No
Cotopaxi	1,522	0,154	No
Chimborazo	1,698	0,117	No
Imbabura	-0,0663	0,78398	No
<b>Loja</b>	<b>3,830</b>	<b>0,00240</b>	<b>Sí</b>
<b>Pichincha</b>	<b>0,641</b>	<b>0,0017772</b>	<b>Sí</b>
Tungurahua	0,001	1,000	No
<b>El Oro</b>	<b>5,311</b>	<b>0,000248</b>	<b>Sí</b>
Esmeraldas	0,128	0,58295	No
<b>Guayas</b>	<b>0,736</b>	<b>0,00030243</b>	<b>Sí</b>
<b>Los Ríos</b>	<b>8,202</b>	<b>2,91e-06</b>	<b>Sí</b>
<b>Manabí</b>	<b>4,761</b>	<b>0,000463</b>	<b>Sí</b>

**ANEXO 10. RESULTADOS DE LA PRUEBA DE SIGNIFICANCIA DE LA TENDENCIA DE LAS SERIES DE RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE MAÍZ DURO, CULTIVO ASOCIADO.**

<b>Provincia</b>	<b>Estadístico</b>	<b>p-valor</b>	<b>Tendencia significativa</b>
Azuay	0,766	0,459	No
Bolívar	0,297	0,15463	No
Cañar	0,787	0,449	No
Carchi	-	-	-
Cotopaxi	0,303	0,19262	No
<b>Chimborazo</b>	<b>4,006</b>	<b>0,0103</b>	<b>Sí</b>
Imbabura	0,333	0,1272	No
Loja	1,147	0,274	No
Pichincha	1,956	0,0742	No
Tungurahua	0,487	0,652	No
<b>El Oro</b>	<b>2,414</b>	<b>0,0343</b>	<b>Sí</b>
Esmeraldas	0,378	0,15241	No
<b>Guayas</b>	<b>3,099</b>	<b>0,00921</b>	<b>Sí</b>
<b>Los Ríos</b>	<b>5,438</b>	<b>0,000150</b>	<b>Sí</b>
Manabí	1,678	0,119	No

**ANEXO 11. ESTACIONES METEOROLÓGICAS SELECCIONADAS PARA LA VARIABLE DE PRECIPITACIÓN**

<b>Provincia</b>	<b>Código</b>	<b>Nombre de la estación</b>	<b>Longitud</b>	<b>Latitud</b>	<b>Altitud</b>	<b>Vacios (%)</b>
El Oro	M0040	PASAJE	636530	9632368	40	1,79
El Oro	M0180	ZARUMA	653970	9590667	1100	15,48
El Oro	M0292	GRANJA STA.INES(UTM)	621811	9636163	5	7,74
El Oro	M0481	USHCURRUMI	657150	9632432	290	0
El Oro	M0482	CHACRAS	588825	9607913	60	13,1
El Oro	M0773	PITÍAS	643822	9593140	1126	5,36
Esmeraldas	M0156	QUININDE	670405	10034955	109	19,05
Esmeraldas	M0444	TEAONE-TABIAZO	646299	10087897	100	6,55
Guayas	M0037	MILAGRO(ING. VALDEZ)	655654	9765816	23	0
Guayas	M0176	NARANJAL	653682	9705724	25	13,69
Guayas	M0218	INGENIO SAN CARLOS	677010	9754472	63	13,1
Guayas	M0476	LA CAPILLA INAMHI	611452	9812132	7	2,98
Guayas	M0477	PUERTO INCA	661647	9719868	50	6,55
Guayas	M0774	ABRETONES	596128	9758279	0	12,5
Guayas	M0776	SABANA GRANDE	587461	9726964	0	12,5
Guayas	M1096	GUAYAQUIL U.ESTATAL	622353	9758937	6	4,17
Guayas	M1207	NOBOL	608504	9789594	7	6,55
Los Ríos	M0006	PICHILINGUE	667688	9881209	81	0
Los Ríos	M0051	BABAHOYO-UTB	662899	9800950	7	19,05
Los Ríos	M0172	PUEBLO VIEJO	661994	9831787	19	5,95
Los Ríos	M0465	VENTANAS INAMHI	670470	9839951	52	0

Los Ríos	M0470	MOCACHE	667303	9869499	0	8,33
Los Ríos	M0471	ZAPOTAL-LOS RIOS	686954	9850045	0	5,36
Manabí	M0162	CHONE-U.CATOLICA	606979	9926212	39	6,55
Manabí	M0165	ROCAFUERTE	561103	9897664	20	9,52
Manabí	M0448	LA LAGUNA	541566	9872213	235	3,57
Manabí	M0453	CHORRILLOS	534367	9883114	226	2,38
Manabí	M0454	RIO CHICO ALAJUELA	578471	9883076	118	2,38
Manabí	M0457	PUERTO CAYO	529202	9850506	14	0
Manabí	M0458	COLIMES DE PAJAN	554722	9825172	200	0,6
Manabí	M0906	SOLANO-CEDEGE	729501	9687608	2700	10,12
Manabí	M1208	LA TEODOMIRA	567620	9870950	60	4,17
Santa Elena	M0245	EL SUSPIRO	539049	9789620	0	14,29
Santa Elena	M0619	MANGLARALTO	527929	9796500	6	13,69
Santa Elena	M0775	LIMONCITO	585005	9754601	0	8,93
Santa Elena	M0780	COLONCHE	536822	9776725	0	17,86
Santa Elena	M0782	BARCELONA	534971	9789621	0	13,1
Santa Elena	M0783	SALANGUILLO	548872	9784091	0	13,1
Santa Elena	M1146	JULIO MORENO	571284	9741158	0	15,48
Sto. Domingo	M0025	LA CONCORDIA	697911	9984960	379	0
Sto. Domingo	M0026	PUERTO ILA	684618	9946986	319	0
Azuay	M0045	PALMAS-AZUAY	763294	9699159	2400	2,98
Azuay	M0138	PAUTE	748475	9689908	2194	0,6
Azuay	M0139	GUALACEO	743743	9687643	2230	3,57
Azuay	M0217	PENNAS COLORADAS	770340	9715126	2321	8,33
Azuay	M0418	CUMBE	720613	9658683	2720	14,88
Azuay	M0419	GIRON	705405	9650846	2130	10,71
Azuay	M0420	NABON INAMHI	714631	9630922	2750	5,95
Azuay	M0422	HDA.STA.LUCIA-CAMINO	693401	9637781	1310	4,17
Azuay	M0424	SIGSIG INAMHI	745825	9662443	2600	6,55
Azuay	M0426	RICAURTE-CUENCA	727796	9684323	2545	1,79
Azuay	M0427	SAYAUSI	714755	9681643	2780	5,95
Azuay	M1111	CHANLUD	718622	9703602	3336	4,17
Bolívar	M0383	ECHEANDIA	690070	9841964	308	19,05
Bolívar	M0535	LAS HERRERIAS	728792	9822024	3650	20,83
Bolívar	M1117	INST. TEC. 3 DE MARZO	718395	9813862	2504	19,05
Cañar	M0137	BIBLIAN	734157	9700012	2640	19,05
Cañar	M1095	INGENIO AZTRA	683208	9730426	89	1,19
Carchi	M0102	EL ANGEL	839975	10068967	3000	11,31
Carchi	M0103	SAN GABRIEL	853844	10066515	2860	0
Carchi	M0104	MIRA-FAO	830662	10060845	2275	11,9
Carchi	M0301	FF CC CARCHI	818527	10066957	1280	2,38

Carchi	M0305	JULIO ANDRADE	864521	10072242	2890	0
Carchi	M0308	TUFIÑO	849867	10088284	3418	1,19
Chimborazo	M0133	GUASLAN	759976	9809268	2850	19,05
Chimborazo	M0136	CHUNCHI	730679	9747978	2177	7,74
Chimborazo	M0391	PALLATANGA	725218	9778370	1523	10,71
Chimborazo	M0392	HUIGRA	724342	9746543	1255	5,95
Chimborazo	M0393	SAN JUAN-CHIMBORAZO	746715	9819454	3220	0
Chimborazo	M0395	CEBADAS	762207	9788585	2930	3,57
Chimborazo	M0397	COMPUD	729185	9740791	2402	7,74
Chimborazo	M0399	ACHUPALLAS	747956	9747399	3178	5,95
Chimborazo	M0403	ALASI	739284	9756353	2267	4,17
Chimborazo	M0404	CAÑI-LIMBE	723331	9803688	2800	6,55
Chimborazo	M0408	GUANO	762867	9821618	2620	1,19
Cotopaxi	M0004	RUMIPAMBA-SALCEDO	767962	9887374	2685	0
Cotopaxi	M0122	PILALO	722882	9895271	2504	1,19
Cotopaxi	M0123	EL CORAZON	713901	9874232	1471	1,19
Cotopaxi	M0362	LAS PAMPAS	726246	9952566	1583	2,98
Cotopaxi	M0363	SIGCHOS	734555	9922270	2880	4,17
Cotopaxi	M0369	CUSUBAMBA	755408	9881116	3175	2,98
Cotopaxi	M1066	COTOPILALO	755744	9924042	3250	8,33
Tungurahua	M0128	CEVALLOS(COLEGIO)	765155	9850010	2910	0,6
Tungurahua	M0258	QUEROCHACA(UTA)	766205	9848380	2865	0
Tungurahua	M0376	PILAHUIN	752109	9855645	3314	1,79
Tungurahua	M0377	TISALEO	759001	9850477	3266	14,88
Tungurahua	M1069	CALAMACA	742462	9858481	3402	6,55
Imbabura	M0021	ATUNTAQUI	808388	10038764	2200	7,74
Imbabura	M0105	OTAVALO	805884	10026560	2550	0
Imbabura	M0107	CAHUASQUI-FAO	810207	10056962	2335	4,17
Imbabura	M0312	PABLO ARENAS	812250	10055211	2340	1,19
Imbabura	M0314	AMBUQUI	832866	10046796	1880	1,79
Imbabura	M0315	PIMAMPIRO	840533	10043138	2090	3,57
Imbabura	M0318	APUELA-INTAG	776517	10038908	1620	2,38
Imbabura	M0324	SAN F. DE SIGSIPAMBA	843581	10032625	2230	5,36
Imbabura	M0325	GARCIA MORENO	763866	10025599	1950	5,36
Imbabura	M0326	SELVA ALEGRE	769465	10026891	1800	3,57
Loja	M0033	LA ARGELIA-LOJA	699469	9553261	2160	0
Loja	M0142	SARAGURO	695925	9600208	2525	18,45
Loja	M0143	MALACATOS	691652	9533403	1453	2,98
Loja	M0145	QUINARA INAMHI	694711	9522583	1559	4,17
Loja	M0146	CARIAMANGA	660171	9520506	1950	4,17
Loja	M0147	YANGANA	702314	9516575	1835	7,74

Loja	M0148	CELICA	616149	9545853	1904	12,5
Loja	M0151	ZAPOTILLO	584481	9515181	223	18,45
Loja	M0432	SAN LUCAS INAMHI	692844	9586943	2525	2,98
Loja	M0433	EL LUCERO INAMHI	669345	9513147	1180	16,07
Loja	M0434	SOZORANGA INAMHI	634151	9521504	1427	3,57
Loja	M0435	ALAMOR	607680	9555383	1250	9,52
Loja	M0515	CATACOCCHA	650235	9551207	1808	8,93
Loja	M0544	COLAISACA	644789	9522377	2410	4,76
Loja	M0759	EL TAMBO-LOJA	688478	9549169	1580	25
Pichincha	M0002	LA TOLA	792717	9974366	2480	0
Pichincha	M0003	IZOBAMBA	772463	9959068	3058	0
Pichincha	M0009	LA VICTORIA INERHI	811395	9992993	2262	0
Pichincha	M0024	QUITOINAMHI-IÑAQUITO	779893	9981193	2789	1,79
Pichincha	M0113	UYUMBICHO	775216	9956670	2740	2,38
Pichincha	M0335	LA CHORRERA	774138	9977322	3165	1,19
Pichincha	M0339	NANEGALITO	758392	10007008	1580	3,57
Pichincha	M0344	CANGAHUA	815109	9993300	3140	17,86
Pichincha	M0345	CALDERON	786856	9988753	2645	3,57
Pichincha	M0346	YARUQUI INAMHI	798614	9981959	2600	2,38
Pichincha	M0357	CANAL 10 TV.	775531	9981409	3780	1,79
Pichincha	M0359	CAYAMBE	818204	10005597	2840	8,93
Pichincha	M0361	NONO	769931	9991520	2710	2,98
Pichincha	M0364	LORETO PEDREGAL	786223	9937519	3620	1,79
Pichincha	M1094	TOMALON-TABACUNDO	807744	10003321	2790	0

**ANEXO 12. ESTACIONES METEOROLÓGICAS SELECCIONADAS PARA LA  
VARIABLE DE TEMPERATURA MÁXIMA**

<b>Provincia</b>	<b>Código</b>	<b>Nombre de la estación</b>	<b>Longitud</b>	<b>Latitud</b>	<b>Altitud</b>	<b>Vacíos (%)</b>
El Oro	M0180	ZARUMA	653970	9590667	1100	15,48
El Oro	M0292	GRANJA STA.INES(UTM)	621811	9636163	5	7,74
Esmeraldas	M0156	QUININDE	670405	10034955	109	19,64
Guayas	M1096	GUAYAQUIL U.ESTATAL	622353	9758937	6	3,57
Manabí	M0162	CHONE-U.CATOLICA	606979	9926212	36	6,55
Manabí	M0171	CAMPOSANO #2	566371	9823572	113	1,19
Azuay	M0138	PAUTE	748475	9689908	2194	0,60
Bolívar	M0130	CHILLANES	715176	9781147	2330	10,71
Cañar	M1095	INGENIO AZTRA	683208	9730426	89	0,60
Carchi	M0102	EL ANGEL	839975	10068967	3000	12,50
Cotopaxi	M0004	RUMIPAMBA-SALCEDO	767445	9886792	2685	1,19
Cotopaxi	M0122	PILALO	722882	9895271	2504	14,29
Cotopaxi	M0123	EL CORAZON	713901	9874232	1471	1,19
Cotopaxi	M0124	SAN JUAN LA MANA	694990	9898296	215	4,17
Cotopaxi	M1066	COTOPILALO	755744	9924042	3250	15,48
Chimborazo	M0136	CHUNCHI	730679	9747978	2177	19,64
Loja	M0033	LA ARGELIA-LOJA	699469	9553261	2160	0,00
Loja	M0146	CARIAMANGA	660171	9520506	1950	4,17
Loja	M0148	CELICA	616149	9545853	1904	13,10
Pichincha	M0002	LA TOLA	792888	9974245	2480	0,00
Pichincha	M0009	LA VICTORIA INERHI	811395	9992993	2262	2,38
Pichincha	M0024	IÑAQUITO	779893	9981193	2789	2,38
Tungurahua	M0128	PEDRO FERMIN	765155	9850010	2910	0,60
Tungurahua	M0258	QUEROCHACA(UTA)	766205	9848380	2865	0,00
Tungurahua	M1069	CALAMACA	742462	9858481	3402	7,14

**ANEXO 13. ESTACIONES METEOROLÓGICAS SELECCIONADAS PARA LA  
VARIABLE DE TEMPERATURA MÍNIMA**

<b>Provincia</b>	<b>Código</b>	<b>Nombre de la estación</b>	<b>Longitud</b>	<b>Latitud</b>	<b>Altitud</b>	<b>Vacíos (%)</b>
Guayas	M0218	INGENIO SAN CARLOS	677009	9754471	63	23,81
Los Ríos	M0006	PICHILINGUE	667687	9881209	81	1,19
Manabí	M0005	PORTOVIEJO-UTM	580830	9887084	59	22,62
Azuay	M0138	PAUTE	748475	9689908	2194	14,88
Cañar	M1095	INGENIO AZTRA	683207	9730426	89	13,69
Carchi	M0103	SAN GABRIEL	861873	10063171	2860	8,93
Cotopaxi	M0004	RUMIPAMBA-SALCEDO	767962	9887374	2685	9,52
Imbabura	M0105	OTAVALO	806121	10025564	2550	18,45
Loja	M0033	LA ARGELIA-LOJA	699710	9553629	2160	8,93
Pichincha	M0003	IZOBAMBA	772463	9959068	3058	8,93
Tungurahua	M0258	QUEROCHACA(UTA)	766205	9848380	2865	7,74

**ANEXO 14. VALORES DE POTENCIA Y NÚMERO DE OBSERVACIONES UTILIZADOS PARA LA INTERPOLACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN, CON SU RESPECTIVO ERROR.**

<b>Año</b>	<b>Variables</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>
<b>2001</b>	Observaciones	10	10	10	10	10	10	13	11	13	13	10	10
	Potencia	1,00	1,15	1,09	1,02	1,37	6,82	6,40	6,91	1,20	2,01	1,83	2,31
	RSME	108,80	81,64	127,96	103,01	43,57	44,92	30,20	32,96	24,08	21,18	30,02	43,19
<b>2002</b>	Observaciones	10	10	10	11	11	10	13	14	11	10	11	10
	Potencia	1,00	1,00	1,25	1,12	2,57	7,11	7,36	6,00	3,78	1,00	1,18	2,12
	RSME	51,87	126,46	148,91	102,27	64,17	29,71	33,06	19,48	15,39	33,65	38,98	45,14
<b>2003</b>	Observaciones	12	10	13	10	10	11	10	11	10	10	10	11
	Potencia	2,30	1,00	1,84	5,21	4,94	4,07	7,32	4,46	5,18	1,68	1,25	1,79
	RSME	72,67	83,00	70,42	79,50	54,69	36,71	25,85	22,45	19,93	29,93	34,38	39,67
<b>2004</b>	Observaciones	10	12	10	10	10	10	11	14	11	10	10	10
	Potencia	2,78	1,33	1,36	2,09	1,99	8,35	7,81	10,10	1,28	1,98	1,98	1,71
	RSME	42,57	80,80	84,76	56,31	62,27	36,91	26,74	12,42	32,71	34,39	34,39	34,82
<b>2005</b>	Observaciones	10	10	10	10	14	10	10	14	10	10	10	10
	Potencia	1,81	1,14	2,35	3,32	2,01	6,31	6,59	2,20	5,87	1,73	1,67	1,64
	RSME	50,15	69,14	95,26	77,27	47,93	48,60	36,77	20,14	19,31	33,99	24,32	48,99
<b>2006</b>	Observaciones	10	10	10	10	11	10	10	10	11	10	14	10

	Potencia	1,48	1,29	2,97	4,97	2,20	6,28	7,36	6,67	6,28	1,39	1,70	2,22
	RSME	63,13	118,32	87,75	63,23	40,90	35,12	30,11	22,88	23,59	26,32	45,72	47,58
	Observaciones	12	10	10	11	14	14	14	11	14	10	10	11
<b>2007</b>	Potencia	1,61	2,22	2,04	2,61	1,81	1,91	2,54	6,44	6,49	2,57	1,70	1,76
	RSME	72,20	66,44	92,14	82,44	85,24	82,66	24,70	34,25	19,33	29,42	49,69	37,22
	Observaciones	10	12	10	13	14	11	11	14	10	10	10	10
<b>2008</b>	Potencia	2,07	3,65	1,78	3,08	3,61	5,04	5,10	5,95	4,94	1,25	1,34	1,56
	RSME	116,44	84,47	114,69	82,71	43,26	31,56	55,72	29,34	27,36	38,99	41,52	35,67
	Observaciones	12	10	12	12	10	13	11	10	10	10	11	10
<b>2009</b>	Potencia	3,84	2,38	1,62	1,69	2,09	6,65	6,21	7,93	5,47	1,97	2,03	2,20
	RSME	84,86	79,22	88,15	55,04	40,60	34,20	44,42	25,04	20,44	24,76	24,19	57,37
	Observaciones	10	10	10	10	10	11	10	11	11	10	14	10
<b>2010</b>	Potencia	1,09	1,85	1,28	1,45	1,36	7,09	5,56	5,24	1,93	2,45	2,41	2,67
	RSME	74,90	98,62	109,54	106,54	59,23	38,46	42,12	17,15	19,27	18,30	40,03	64,09
	Observaciones	12	12	12	10	14	13	11	11	11	10	10	10
<b>2011</b>	Potencia	1,29	1,35	1,18	1,57	5,97	5,81	6,02	6,02	2,84	5,04	1,27	1,84
	RSME	105,15	82,79	61,11	112,40	45,29	26,68	66,76	25,12	26,59	24,55	36,50	52,64
<b>2012</b>	Observaciones	12	10	10	12	10	10	14	13	14	10	10	10

	Potencia	1,98	1,41	1,10	1,53	1,24	6,82	7,58	8,05	3,09	1,83	1,95	2,33
	RSME	121,46	128,27	137,42	94,38	88,73	37,84	37,87	33,89	18,95	29,38	33,44	25,26
	Observaciones	10	10	10	10	11	10	11	14	14	10	10	10
<b>2013</b>	Potencia	1,47	1,77	1,29	1,64	2,29	6,77	7,12	4,31	6,56	1,49	1,71	2,21
	RSME	82,62	91,43	105,79	74,05	52,05	42,67	45,59	31,78	22,16	40,88	23,27	32,65
	Observaciones	10	10	12	11	12	11	13	10	11	10	10	10
<b>2014</b>	Potencia	2,56	1,55	1,91	2,00	1,76	1,81	6,29	6,63	1,21	1,22	2,65	1,22
	RSME	72,13	81,38	73,75	61,77	85,25	47,92	44,87	29,52	20,08	39,18	32,92	40,73
	Observaciones	10	10	10	10	10	10	10	13	10	11	10	10
<b>2015</b>	Potencia	4,58	1,92	1,92	2,81	1,14	5,95	6,38	2,00	6,54	1,84	1,41	6,96
	RSME	66,65	74,08	97,05	100,27	79,46	56,78	48,89	34,46	15,83	39,69	34,66	62,59

---

### ANEXO 15. CORRELACIONES ENTRE EL RENDIMIENTO DEL MAÍZ SUAVE CULTIVO SOLO Y LA PRECIPITACIÓN MENSUAL.

Provincia	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
Azuay	-0,44	0,31	-0,07	-0,28	-0,02	-0,28	-0,18	0,25	-0,08	0,03	0,38
Bolívar	-0,02	0,02	-0,15	-0,14	0,12	0,09	0,08	0,27	0,08	0,02	-0,26
Cañar	-0,39	-0,23	0,14	-0,08	-0,21	-0,35	-0,34	0,14	-0,39	0,34	0,2
Carchi	-0,34	-0,12	-0,07	-0,26	-0,04	0,14	-0,09	-0,15	0,37	-0,01	0,23
Chimborazo	0,12	-0,36	-0,27	0,29	-0,26	-0,28	-0,06	0,38	-0,16	0,23	0,2
Cotopaxi	-0,11	-0,04	0,05	-0,2	-0,13	-0,15	-0,27	0,04	-0,22	-0,12	0,19
Imbabura	-0,05	<b>0.64*</b>	-0,35	0,13	0,49	0,09	-0,16	0,09	<b>0,57*</b>	-0,26	0,11
Loja	0,39	0,45	-0,12	0,16	-0,2	0,34	0,32	-0,19	0,03	0,01	0,07
Pichincha	0,33	-0,32	0,42	0,1	0,41	0,2	-0,06	0,02	-0,18	-0,01	0,38
Tungurahua	0,42	0,2	0,01	0,33	0,24	<b>0.90****</b>	-0,14	-0,22	0,35	0,05	-0,09

Código de significancia: p < .0001, "\*\*\*\*", p < .001, "\*\*\*", p < .01, "\*\*", p < .05, "\*" "

### ANEXO 16. CORRELACIONES ENTRE EL RENDIMIENTO DEL MAÍZ SUAVE CULTIVO ASOCIADO Y LA PRECIPITACIÓN MENSUAL.

Provincia	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
Azuay	-0,48	0,16	0,2	-0,02	-0,09	-0,36	-0,24	0,47	-0,06	0,01	0,12
Bolívar	<b>-0.60*</b>	0,2	-0,24	-0,44	0,04	-0,46	-0,39	0,15	-0,21	-0,18	-0,49
Cañar	-0,37	0,11	0,02	-0,14	-0,51	<b>-0.64*</b>	<b>-0.58*</b>	0,21	-0,45	0,1	-0,12
Carchi	0,1	-0,1	0,8	0,8	-0,1	0,8	-0,1	0,3	0	-0,3	0,4
Chimborazo	0,02	-0,15	-0,09	-0,29	-0,02	0,21	-0,13	-0,02	-0,11	0,32	-0,07
Cotopaxi	0,11	-0,39	<b>0.70**</b>	-0,05	<b>-0.71**</b>	-0,03	-0,23	-0,2	-0,42	0,35	-0,26
Imbabura	0,42	-0,3	0,34	0,1	0,08	0,2	0,09	0,53	0,01	-0,06	0,15
Loja	-0,21	0,06	0,35	-0,28	-0,17	-0,29	-0,31	0,34	-0,31	0,08	-0,05
Pichincha	-0,09	<b>-0.60*</b>	-0,21	-0,33	-0,1	-0,09	-0,07	0,01	0,08	0,38	0,19
Tungurahua	-0,23	-0,26	0,1	0,32	0,3	-0,15	0,21	0,24	-0,13	-0,11	0,03

Código de significancia: p < .0001, "\*\*\*\*", p < .001, "\*\*\*", p < .01, "\*\*", p < .05, "\*" "

### ANEXO 17. CORRELACIONES ENTRE EL RENDIMIENTO DEL MAÍZ DURO CULTIVO SOLO Y LA PRECIPITACIÓN MENSUAL.

Provincia	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
Bolívar	-0.01	-0.06	0.35	-0.28	-0.28	-0.03	-0.29	-0.30	-0.38	0.41	0.45
Cañar	0.20	-0.40	0.02	0.03	0.06	-0.03	-0.36	0.04	0.00	0.17	0.39
Carchi	0.47	0.50	0.26	0.02	0.25	<b>0.59*</b>	0.44	0.26	0.07	-0.17	-0.20
Chimborazo	0.11	0.53	0.10	-0.53	-0.26	0.33	0.04	-0.13	-0.50	0.03	-0.10
Cotopaxi	0.10	-0.08	0.18	0.11	-0.25	<b>0.70**</b>	-0.05	-0.29	-0.23	-0.05	0.14
Imbabura	0.09	-0.19	<b>0.85***</b>	0.08	-0.31	0.01	-0.36	0.00	-0.29	0.11	-0.10
Loja	0.13	0.11	-0.30	-0.12	<b>0.58*</b>	0.33	-0.34	0.30	-0.19	0.15	0.16
Pichincha	-0.38	-0.10	0.42	-0.02	-0.19	-0.07	-0.52	-0.05	0.16	0.33	0.19
Guayas	-0.07	-0.02	0.15	-0.19	0.15	-0.03	-0.01	0.02	-0.08	0.53	0.06
Los Ríos	0.47	0.23	0.27	-0.24	-0.02	-0.31	-0.49	-0.41	-0.12	0.23	0.20
Manabí	-0.12	0.32	0.28	-0.12	-0.14	<b>-0.63*</b>	-0.41	-0.30	0.36	0.07	-0.02

Código de significancia: p < .0001, "\*\*\*\*\*", p < .001, "\*\*\*\*", p < .01, "\*\*\*", p < .05, "\*\* "

### ANEXO 18. CORRELACIONES ENTRE EL RENDIMIENTO DEL MAÍZ DURO CULTIVO ASOCIADO Y LA PRECIPITACIÓN MENSUAL.

Provincia	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
Bolívar	0.02	-0.03	-0.13	<b>-0.66**</b>	0.10	-0.16	-0.05	-0.05	0.03	0.42	0.00
Cañar	0.27	0.15	0.27	-0.13	0.02	-0.06	-0.55	-0.50	0.03	-0.20	0.41
Chimborazo	-0.04	-0.14	0.64	-0.39	<b>-0.96***</b>	0.18	0.18	0.68	-0.64	0.21	-0.36
Cotopaxi	0.13	0.02	-0.08	-0.56	0.14	0.44	0.22	-0.47	-0.02	-0.34	0.13
Imbabura	-0.05	0.36	<b>0.62*</b>	-0.41	-0.45	0.23	-0.03	-0.22	<b>-0.65*</b>	-0.27	<b>-0.55*</b>
Loja	0.22	0.15	0.25	-0.10	-0.05	0.04	0.14	-0.48	-0.22	0.33	0.02
Pichincha	-0.18	-0.51	-0.24	-0.27	0.13	0.19	-0.16	-0.20	-0.16	0.26	0.47
Guayas	0.02	-0.18	0.10	0.39	0.07	0.20	-0.38	-0.41	0.07	-0.12	-0.21
Los Ríos	-0.03	0.26	0.30	-0.11	0.04	-0.17	-0.12	0.02	-0.13	-0.02	0.03
Manabí	0.08	-0.02	0.17	-0.26	0.27	0.00	-0.12	-0.04	0.15	0.04	0.10

Código de significancia: p < .0001, "\*\*\*\*\*", p < .001, "\*\*\*\*", p < .01, "\*\*\*", p < .05, "\*\* "

### ANEXO 19. CORRELACIONES ENTRE EL RENDIMIENTO DEL MAÍZ SUAVE CULTIVO SOLO Y LA TEMPERATURA MÁXIMA

Provincia	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
Azuay	0.01	0.21	0.09	0.49	0.08	0.32	0.31	-0.13	0.25	-0.04	-0.28
Bolívar	<b>-0.55*</b>	-0.38	-0.18	-0.22	-0.10	-0.09	-0.27	-0.31	-0.35	-0.44	-0.23
Cañar	0.56	0.31	-0.13	0.33	0.35	0.42	0.28	-0.39	0.47	0.05	-0.18
Carchi	0.45	0.26	0.24	<b>0.55*</b>	-0.11	0.18	-0.11	-0.11	0.17	0.24	0.29
Chimborazo	-0.03	0.43	0.45	0.44	0.30	0.20	0.41	0.09	0.01	0.40	-0.36
Cotopaxi	-0.24	0.42	-0.17	0.36	0.30	0.23	0.45	-0.13	0.17	0.20	-0.40
Imbabura	0.17	0.35	<b>0.66**</b>	0.25	-0.36	0.00	0.20	0.28	-0.36	0.20	-0.05
Loja	-0.53	-0.47	-0.06	-0.14	0.03	-0.30	-0.35	<b>0.58*</b>	0.09	0.24	0.25
Pichincha	0.12	-0.18	-0.31	-0.31	-0.06	-0.09	-0.13	-0.24	-0.09	0.08	0.14
Tungurahua	0.09	-0.23	-0.10	-0.27	-0.51	<b>-0.72**</b>	-0.40	-0.47	<b>-0.61*</b>	-0.25	-0.11

Código de significancia: p < .0001, "\*\*\*\*\*", p < .001, "\*\*\*\*", p < .01, "\*\*\*", p < .05, "\*\* "

### ANEXO 20. CORRELACIONES ENTRE EL RENDIMIENTO DEL MAÍZ SUAVE CULTIVO ASOCIADO Y LA TEMPERATURA MÁXIMA

Provincia	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
Azuay	-0.08	0.02	0.01	<b>0.64*</b>	0.38	0.24	0.33	-0.08	0.27	0.38	-0.19
Bolívar	-0.28	0.16	-0.21	0.23	0.33	0.42	0.27	-0.22	0.16	-0.03	-0.26
Cañar	-0.38	0.12	-0.12	0.23	<b>0.71**</b>	<b>0.68**</b>	0.47	0.24	<b>0.59*</b>	0.23	-0.27
Chimborazo	0.17	0.44	0.07	0.29	-0.13	-0.19	0.33	-0.03	-0.06	0.17	-0.38
Cotopaxi	-0.18	0.09	<b>-0.62*</b>	-0.26	0.22	0.05	-0.05	0.03	0.39	-0.39	-0.04
Imbabura	-0.03	0.27	-0.42	-0.12	-0.25	-0.38	0.09	<b>-0.61*</b>	-0.34	-0.25	-0.34
Loja	0.00	0.15	-0.15	0.40	0.27	0.21	0.20	-0.35	0.15	0.03	0.13
Pichincha	0.31	-0.23	0.24	0.39	0.25	0.10	-0.15	-0.40	0.19	-0.04	-0.04
Tungurahua	<b>0.57*</b>	0.41	-0.08	-0.13	-0.43	0.13	0.06	-0.37	-0.18	-0.16	0.23

Código de significancia: p < .0001, "\*\*\*\*\*", p < .001, "\*\*\*\*", p < .01, "\*\*\*", p < .05, "\*\* "

### ANEXO 21. CORRELACIONES ENTRE EL RENDIMIENTO DEL MAÍZ DURO CULTIVO SOLO Y LA TEMPERATURA MÁXIMA

Provincia	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
Azuay	0.42	<b>0.63*</b>	0.39	0.48	0.39	0.26	<b>0.69**</b>	<b>0.61*</b>	0.31	0.25	0.18
Bolívar	0.10	0.39	0.23	0.36	0.37	0.34	0.46	0.04	-0.02	0.14	-0.02
Cañar	0.31	0.42	0.20	0.34	0.30	0.28	0.36	-0.19	-0.16	-0.27	-0.29
Carchi	-0.21	-0.27	-0.23	0.23	0.02	-0.40	-0.15	0.39	0.27	0.41	<b>0.81**</b>
Chimborazo	-0.38	-0.28	-0.12	0.20	0.06	-0.25	-0.18	0.35	0.02	0.48	<b>0.80**</b>
Cotopaxi	<b>-0.64*</b>	0.00	-0.49	-0.40	-0.12	<b>-0.79***</b>	-0.03	0.02	0.31	-0.05	0.08
Imbabura	0.06	0.23	-0.28	0.06	0.06	0.08	0.21	-0.07	0.11	-0.29	-0.26
Loja	0.24	0.36	0.05	0.49	0.41	0.22	0.08	0.01	-0.19	-0.05	0.17
Pichincha	-0.05	0.05	0.09	0.20	0.20	0.19	-0.21	-0.40	-0.46	-0.13	0.11
El Oro	-0.09	<b>-0.85***</b>	-0.02	-0.43	0.14	-0.08	-0.28	<b>-0.74**</b>	-0.13	-0.08	0.22
Esmeraldas	0.21	0.06	0.21	0.09	-0.07	0.05	0.44	0.16	<b>0.65*</b>	<b>0.55*</b>	0.41
Guayas	0.12	0.44	0.07	0.41	0.21	-0.01	-0.17	0.10	-0.18	0.02	-0.01
Los Ríos	0.49	-0.06	0.24	0.26	0.47	0.49	0.03	0.20	-0.21	0.25	0.38
Manabí	0.44	-0.20	0.49	0.31	0.49	0.42	-0.09	-0.27	-0.47	0.02	0.13

Código de significancia: p < .0001, "\*\*\*\*\*", p < .001, "\*\*\*\*", p < .01, "\*\*\*", p < .05, "\*\* "

### ANEXO 22. CORRELACIONES ENTRE EL RENDIMIENTO DEL MAÍZ DURO CULTIVO ASOCIADO Y LA TEMPERATURA MÁXIMA

Provincia	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
Azuay	-0.24	-0.42	0.28	0.02	-0.02	-0.21	-0.16	-0.12	-0.15	0.07	0.35
Bolívar	0.41	<b>0.60*</b>	0.25	<b>0.80***</b>	<b>0.54*</b>	0.30	<b>0.56*</b>	<b>0.54*</b>	0.17	0.40	0.41
Cañar	-0.06	-0.21	0.07	-0.12	0.19	0.06	0.31	0.03	-0.22	0.33	0.30
Chimborazo	-0.11	0.18	-0.21	0.39	0.64	0.39	0.14	-0.07	0.46	0.57	-0.29
Cotopaxi	0.02	0.01	-0.10	0.08	0.01	-0.07	-0.05	0.38	0.49	<b>0.69*</b>	0.56
Imbabura	-0.27	-0.02	-0.46	0.27	0.12	-0.29	-0.20	0.22	0.37	0.35	<b>0.59*</b>
Loja	0.18	0.02	0.00	0.18	0.34	-0.02	0.07	0.38	0.52	0.42	0.26
Pichincha	-0.42	0.08	0.04	0.22	-0.11	-0.25	-0.11	0.03	-0.34	0.21	0.38
El Oro	0.10	-0.15	-0.08	-0.10	-0.01	-0.09	0.18	-0.34	0.51	-0.07	-0.26
Esmeraldas	-0.24	0.44	-0.15	-0.18	0.42	-0.45	-0.37	-0.05	0.13	0.26	0.41
Guayas	-0.20	-0.30	-0.12	-0.22	-0.12	-0.09	0.17	0.16	0.05	-0.13	-0.15
Los Ríos	<b>0.57*</b>	0.00	-0.02	0.27	0.21	0.19	0.12	0.03	0.38	0.41	0.08
Manabí	0.17	-0.07	-0.07	0.31	0.40	0.00	0.24	0.16	0.16	0.13	0.17

Código de significancia: p < .0001, "\*\*\*\*\*", p < .001, "\*\*\*\*", p < .01, "\*\*\*", p < .05, "\*\* "

### ANEXO 23. CORRELACIONES ENTRE EL RENDIMIENTO DEL MAÍZ SUAVE CULTIVO SOLO Y LA TEMPERATURA MÍNIMA

Provincia	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
Azuay	0.07	0.26	-0.20	-0.16	0.07	-0.35	0.03	0.03	0.14	-0.16	0.19
Bolívar	-0.37	0.01	0.15	-0.05	-0.25	-0.06	0.17	-0.07	-0.43	-0.20	-0.11
Cañar	0.42	0.16	0.11	0.28	-0.16	-0.21	0.19	0.60	0.17	0.56	0.05
Carchi	0.26	0.36	0.42	<b>-0.56*</b>	-0.21	-0.29	-0.16	-0.23	-0.05	-0.21	-0.21
Chimborazo	-0.04	-0.35	-0.31	-0.32	<b>0.54*</b>	-0.29	0.05	-0.52	0.35	-0.05	0.03
Cotopaxi	0.07	-0.14	0.05	0.11	0.06	-0.07	0.34	0.04	0.35	0.01	0.42
Imbabura	0.13	0.40	-0.51	<b>-0.54*</b>	0.12	-0.12	<b>-0.68**</b>	-0.45	0.11	-0.51	-0.22
Loja	-0.30	-0.52	-0.16	0.01	0.35	0.21	0.23	-0.38	0.12	-0.02	0.24
Pichincha	0.11	-0.04	0.08	0.49	0.31	0.09	-0.07	0.18	0.38	0.06	0.09
Tungurahua	-0.38	-0.02	-0.29	-0.02	0.50	0.42	-0.01	-0.46	0.09	-0.09	-0.07

Código de significancia: p < .0001, "\*\*\*\*\*", p < .001, "\*\*\*\*", p < .01, "\*\*\*", p < .05, "\*\* "

### ANEXO 24. CORRELACIONES ENTRE EL RENDIMIENTO DEL MAÍZ SUAVE CULTIVO ASOCIADO Y LA TEMPERATURA MÍNIMA

Provincia	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
Azuay	0.36	<b>0.63*</b>	0.43	0.02	<b>-0.56*</b>	0.01	-0.31	0.44	0.18	-0.28	0.03
Bolívar	-0.02	0.14	0.10	0.03	-0.19	-0.27	0.09	0.34	-0.18	-0.07	0.08
Cañar	0.10	-0.17	0.09	0.18	-0.09	-0.46	0.10	0.47	-0.04	0.20	0.32
Chimborazo	0.14	0.11	0.04	-0.11	-0.07	0.29	0.11	0.04	0.15	0.06	0.35
Cotopaxi	-0.27	-0.43	0.10	0.04	-0.14	0.20	<b>0.71**</b>	0.29	-0.45	<b>0.54*</b>	0.37
Imbabura	-0.10	0.08	-0.10	0.17	0.15	0.40	0.27	-0.14	0.08	-0.02	0.09
Loja	-0.06	0.37	0.45	0.11	<b>-0.65*</b>	-0.09	0.20	<b>0.63*</b>	-0.16	-0.12	0.11
Pichincha	0.15	0.18	0.38	-0.12	-0.26	-0.23	-0.01	-0.02	-0.04	0.14	-0.36
Tungurahua	0.48	0.51	-0.10	-0.01	-0.17	-0.07	-0.30	0.26	-0.03	-0.08	-0.26

Código de significancia: p < .0001, "\*\*\*\*\*", p < .001, "\*\*\*\*", p < .01, "\*\*\*", p < .05, "\*\* "

### ANEXO 25. CORRELACIONES ENTRE EL RENDIMIENTO DEL MAÍZ DURO CULTIVO SOLO Y LA TEMPERATURA MÍNIMA

Provincia	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
Azuay	0.49	-0.02	-0.11	0.30	0.16	0.13	0.29	0.13	0.47	0.40	<b>0.61*</b>
Bolívar	0.47	0.16	0.12	0.51	0.41	0.24	0.16	0.06	<b>0.55*</b>	0.50	0.28
Cañar	0.04	0.18	0.20	0.18	-0.31	-0.04	0.09	0.29	0.24	0.22	-0.12
Carchi	0.05	0.49	-0.06	-0.02	-0.14	<b>0.69*</b>	-0.11	-0.16	0.10	-0.28	<b>0.66*</b>
Chimborazo	-0.01	0.24	-0.17	-0.14	-0.02	0.46	-0.17	-0.17	0.09	-0.30	<b>0.58*</b>
Cotopaxi	-0.14	-0.06	0.16	0.17	-0.29	0.11	<b>-0.58*</b>	-0.23	<b>-0.54*</b>	0.16	<b>0.67**</b>
Imbabura	0.34	0.00	0.53	<b>0.59*</b>	-0.07	0.09	0.07	0.19	0.17	0.26	0.22
Loja	0.40	0.27	-0.10	0.31	-0.13	0.24	-0.10	0.35	0.47	0.17	0.08
Pichincha	-0.02	-0.22	0.28	0.38	-0.02	-0.10	0.11	0.49	0.42	0.24	0.17
El Oro	0.01	-0.03	0.28	0.29	-0.08	-0.13	-0.46	0.27	0.04	-0.26	0.26
Esmeraldas	<b>0.71**</b>	0.25	-0.26	0.00	<b>0.60*</b>	0.12	-0.03	0.16	0.20	0.43	0.07
Guayas	0.05	0.05	0.05	0.36	0.19	-0.01	0.05	0.27	<b>0.57*</b>	0.28	0.13
Los Ríos	0.13	0.18	0.25	0.13	-0.08	0.01	0.28	-0.16	0.52	-0.07	-0.01
Manabí	-0.04	0.10	0.49	0.36	0.09	-0.07	0.26	0.14	<b>0.60*</b>	0.00	-0.02

Código de significancia: p < .0001, "\*\*\*\*\*", p < .001, "\*\*\*\*", p < .01, "\*\*\*", p < .05, "\*\*"

### ANEXO 26. CORRELACIONES ENTRE EL RENDIMIENTO DEL MAÍZ DURO CULTIVO ASOCIADO Y LA TEMPERATURA MÍNIMA

Provincia	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
Azuay	-0.17	0.05	-0.21	-0.11	-0.31	0.17	-0.24	0.25	0.13	-0.17	0.06
Bolívar	0.40	0.36	-0.20	-0.11	-0.06	0.23	0.33	0.27	0.49	0.12	0.23
Cañar	-0.27	0.15	0.12	0.35	-0.44	0.25	-0.01	-0.10	0.25	-0.24	0.40
Chimborazo	0.54	0.36	0.50	0.50	0.43	0.36	0.14	0.14	0.50	0.43	-0.07
Cotopaxi	-0.26	0.22	0.15	-0.45	0.10	-0.03	-0.06	-0.47	0.17	0.20	0.30
Imbabura	0.20	0.13	0.12	0.05	0.11	0.37	0.18	-0.03	0.07	0.04	<b>0.60*</b>
Loja	-0.06	0.22	0.31	-0.08	0.12	0.00	0.04	-0.16	0.07	-0.06	0.01
Pichincha	-0.02	<b>-0.60*</b>	-0.29	-0.28	-0.13	0.16	0.03	0.36	0.07	0.20	0.42
El Oro	-0.11	0.01	0.19	-0.05	0.08	0.05	0.23	0.35	-0.10	-0.03	-0.23
Esmeraldas	0.04	0.21	-0.48	-0.33	-0.16	0.53	-0.21	0.22	0.21	0.25	0.49
Guayas	-0.17	-0.14	0.40	0.20	-0.21	0.07	-0.38	-0.41	-0.22	-0.22	-0.02
Los Ríos	0.23	0.19	0.40	0.05	0.39	-0.38	0.18	0.19	0.24	-0.04	0.03
Manabí	0.09	-0.25	0.38	0.12	-0.14	0.07	-0.09	0.26	0.17	-0.23	0.19

Código de significancia: p < .0001, "\*\*\*\*\*", p < .001, "\*\*\*\*", p < .01, "\*\*\*", p < .05, "\*\*"

ANEXO 27. CORRELACIONES ENTRE EL RENDIMIENTO DEL MAÍZ SUAVE CULTIVO SOLO Y EL PROMEDIO DE LAS ANOMALÍAS DE LA TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE DEL MAR.

Provincia	SON	DEF	MAM	JJA
Azuay	0.14	0.25	0.32	0.20
Bolívar	-0.44	-0.34	0.00	0.42
Cañar	<b>0.65*</b>	0.47	0.35	-0.31
Carchi	-0.02	-0.08	-0.01	-0.17
Chimborazo	0.19	0.31	0.30	-0.26
Cotopaxi	0.33	0.34	0.43	-0.13
Imbabura	-0.35	-0.20	-0.16	0.17
Loja	-0.26	-0.15	-0.01	0.12
Pichincha	0.30	0.18	-0.13	-0.27
Tungurahua	-0.37	-0.41	<b>-0.59*</b>	-0.18

Código de significancia: p < .0001, "\*\*\*\*\*", p < .001, "\*\*\*\*", p < .01, "\*\*\*", p < .05, "\*\*"

ANEXO 28. CORRELACIONES ENTRE EL RENDIMIENTO DEL MAÍZ SUAVE CULTIVO ASOCIADO Y EL PROMEDIO DE LAS ANOMALÍAS DE LA TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE DEL MAR.

Provincia	SON	DEF	MAM	JJA
Azuay	0.11	0.13	0.49	0.41
Bolívar	0.20	0.23	0.50	0.41
Cañar	0.44	<b>0.55*</b>	<b>0.84***</b>	0.40
Carchi	-0.50	-0.50	0.00	0.10
Chimborazo	-0.15	-0.14	-0.06	-0.01
Cotopaxi	0.10	0.05	0.14	0.27
Imbabura	0.14	-0.04	-0.24	-0.12
Loja	0.06	-0.01	0.27	0.14
Pichincha	0.15	0.10	0.09	-0.36
Tungurahua	0.23	0.05	-0.29	-0.13

Código de significancia: p < .0001, "\*\*\*\*\*", p < .001, "\*\*\*\*", p < .01, "\*\*\*", p < .05, "\*\*"

ANEXO 29. CORRELACIONES ENTRE EL RENDIMIENTO DEL MAÍZ DURO CULTIVO SOLO Y EL PROMEDIO DE LAS ANOMALÍAS DE LA TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE DEL MAR.

Provincia	SON	DEF	MAM	JJA
Azuay	0.39	0.44	0.43	-0.09
Bolívar	0.51	<b>0.57*</b>	<b>0.61*</b>	0.28
Cañar	0.29	0.23	0.16	-0.40
Carchi	-0.39	-0.36	-0.09	0.43
Chimborazo	-0.40	-0.30	0.09	<b>0.74**</b>
Cotopaxi	-0.36	-0.51	-0.51	-0.08
Imbabura	0.35	0.27	0.18	0.21
Loja	0.16	0.18	0.28	0.37
Pichincha	0.17	0.22	0.47	0.47
El Oro	0.04	-0.47	0.39	0.19
Esmeraldas	0.45	0.13	0.50	0.27
Guayas	-0.07	0.00	0.05	-0.01
Los Ríos	0.24	0.27	0.03	0.16
Manabí	0.19	0.05	-0.05	-0.08

Código de significancia: p < .0001, "\*\*\*\*\*", p < .001, "\*\*\*", p < .01, "\*\*", p < .05, "\*" "

ANEXO 30. CORRELACIONES ENTRE EL RENDIMIENTO DEL MAÍZ DURO  
CULTIVO ASOCIADO Y EL PROMEDIO DE LAS ANOMALÍAS DE LA  
TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE DEL MAR.

<b>Provincia</b>	<b>SON</b>	<b>DEF</b>	<b>MAM</b>	<b>JJA</b>
Azuay	-0.41	-0.31	-0.05	0.09
Bolívar	0.24	0.28	0.42	0.15
Cañar	-0.01	-0.07	0.06	-0.13
Chimborazo	0.61	0.61	0.61	0.29
Cotopaxi	-0.10	-0.10	0.10	-0.10
Imbabura	-0.06	-0.09	0.16	<b>0.73**</b>
Loja	0.07	0.03	0.09	-0.24
Pichincha	-0.37	-0.25	0.09	0.29
El Oro	0.04	-0.13	0.09	0.07
Esmeraldas	-0.03	-0.18	0.32	0.41
Guayas	-0.04	-0.07	-0.05	-0.09
Los Ríos	0.25	0.13	0.07	0.15
Manabí	0.06	-0.14	0.11	0.11