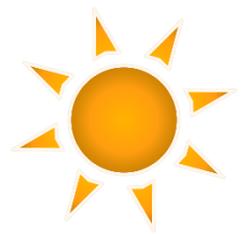
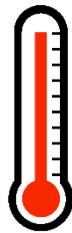


Estimación económica de efectos por variabilidad de parámetros ambientales en la producción de granos básicos, zona norte, El Salvador 2013-2018



Estimación económica de efectos por variabilidad de parámetros ambientales en la producción de granos básicos, zona norte, El Salvador 2013–2018



DIRECCIÓN NACIONAL DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL
ÁREA ECONOMÍA, ADMINISTRACIÓN Y COMERCIO 2019

UNIVERSIDAD DOCTOR ANDRÉS BELLO
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL
ÁREA: ECONOMÍA, ADMINISTRACIÓN Y COMERCIO

Estimación económica de efectos por variabilidad de parámetros ambientales en la producción de granos básicos, zona norte, El Salvador 2013–2018.

©2020, Universidad Doctor Andrés Bello

Primera Edición 2020

Código Institucional: **CH/INV/B/2019**

Publicación correspondiente a la investigación realizada en la Sede Universitaria de Chalatenango, derivada de la monografía con registro ISBN 978-99961-65-28-3.

La reproducción total o parcial está autorizada, siempre y cuando se cite la fuente de forma adecuada.¹

Investigadores:

Milton José Martínez Ventura, Mario René Rivas Domínguez, Marjorie Gabriela Molina Salazar.

Con la cooperación técnica de:

Josué Noé Monterroza (Sede Chalatenango) y Oscar Antonio Peña Rodas (Sede San Salvador).

¹ Dirigir correspondencia a: Dr. José Roberto Hernández Rauda, Director de Investigación y Proyección Social, Universidad Doctor Andrés Bello, 1ª Calle Poniente y 41 Av. Norte #2128, Col. Flor Blanca, San Salvador, El Salvador. Casilla de correo electrónico: roberto.rauda@unab.edu.sv, Tel. (503) + 25107455

Contribuciones extra-institucionales en el proyecto:

Observatorio Ambiental del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), por proporcionar archivo digital con base de datos de parámetros meteorológicos: precipitación, temperatura y humedad relativa, para el periodo 2013 a 2018.

Héctor Reynaldo Deras Flores, Gerencia de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Centro de Tecnología Agropecuaria y Forestal "Enrique Álvarez Córdova" (CENTA) del municipio de San Juan Opico; además del Director y Técnicos de la Agencia de Extensión del CENTA de Chalatenango, por proporcionar información sobre ubicación de parcelas de cultivos y contacto de referentes de los sitios visitados.

Martin Rapilly, Profesor de Geografía de la Universidad Autónoma de Santo Domingo, República Dominicana, por la asesoría técnica.

CONTENIDO

PRÓLOGO	i
RESUMEN	iii
ABSTRACT	v
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MÉTODOS	17
2.1. Generalidades	17
2.2 Zonas de estudio.....	17
2.2.1 Zona norte	18
2.3 Insumos utilizados.....	22
2.3.1 Capas vectoriales (proyecto de tecnología UNAB 2019).....	22
2.3.2 Información sobre cultivos, rendimiento y precios	35
2.3.3 Base de datos de temperatura, humedad relativa y precipitación del Observatorio Ambiental	35
2.4 Tratamiento de la información.....	35
2.4.1 Base de datos de temperatura, humedad relativa y precipitación	35
2.4.2 Áreas estimadas de cultivos maíz y arroz	37
2.4.3 Rendimiento potencial y precio promedio anual	37
3. RESULTADOS	38
3.1 Nacional	38
3.1.1 Mapas nacionales de precipitación.....	39
3.1.2 Mapas nacionales de temperatura.....	45
3.1.3 Mapas nacionales de humedad relativa	51
3.1.4 Análisis de correlación nacional.....	57
3.1.5 Modelos de regresión lineal anuales por cultivo	69

3.1.6	Análisis de variación de parámetros ambientales, áreas y precios del maíz y arroz a nivel nacional	76
3.1.7	Estimación económica de la producción nacional de arroz y maíz....	80
3.3	Zona Norte	82
3.3.1	Mapas de precipitación.....	82
3.3.2	Mapas de temperatura.....	88
3.3.3	Mapas de humedad relativa	94
3.3.4	Análisis de correlación, zona norte	100
3.3.5	Modelos de regresión lineal, zona norte	107
3.3.6	Análisis de variación de parámetros ambientales, áreas y precios del maíz y arroz, zona norte	114
3.3.7	Estimación económica de la producción de maíz y arroz, zona norte	
	118	
4.	DISCUSIÓN	120
5.	CONCLUSIONES.....	130
6.	REFERENCIAS.....	131

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Morfología de la planta de maíz	2
Figura 2. Etapas fenológicas del cultivo de maíz	3
Figura 3. Morfología de la planta de arroz.....	6
Figura 4. Etapas fenológicas del cultivo de arroz	7
Figura 5. Mapa nacional de zonas de estudio	17
Figura 6. Mapa de Municipios muestreados, Zona Norte	18
Figura 7. Ortomosaico 1: Cantón La Cuchilla, municipio de La Laguna.....	19
Figura 8. Ortomosaico 2: cantón La Cuchilla, Municipio de La Laguna.....	19
Figura 9. Ortomosaico 1: cantón Upatoro, municipio de Chalatenango	20
Figura 10. Ortomosaico 2: cantón Upatoro, municipio de Chalatenango	20
Figura 11. Ortomosaico 3: Cantón Upatoro, municipio de Chalatenango	20
Figura 12. Ortomosaico: zona periurbana, municipio de San Francisco Morazán	21
Figura 13. Ortomosaico: zona periurbana, municipio de Las Vueltas	21
Figura 14. Capas vectoriales utilizadas	22
Figura 15. Estimación anual de áreas por cultivo	22
Figura 16. Mapa nacional, área estimada cultivo de maíz, 2013.....	23
Figura 17. Mapa nacional, área estimada cultivo de arroz, 2013	24
Figura 18. Mapa nacional, área estimada cultivo de maíz, 2014.....	25
Figura 19. Mapa nacional, área estimada cultivo de arroz, 2014	26
Figura 20. Mapa nacional, área estimada cultivo de maíz, 2015.....	27
Figura 21. Mapa nacional, área estimada cultivo de arroz, 2015	28
Figura 22. Mapa nacional, área estimada cultivo de maíz, 2016.....	29
Figura 23. Mapa nacional, área estimada cultivo de arroz, 2016	30
Figura 24. Mapa nacional, área estimada cultivo de maíz, 2017.....	31
Figura 25. Mapa nacional, área estimada cultivo de arroz, 2017	32
Figura 26. Mapa nacional, área estimada cultivo de maíz, 2018.....	33
Figura 27. Mapa nacional, área estimada cultivo de arroz, 2018	34
Figura 28. Mapa nacional de precipitación, 2013	39
Figura 29. Mapa nacional de precipitación, 2014	40
Figura 30. Mapa nacional de precipitación, 2015	41
Figura 31. Mapa nacional de precipitación, 2016	42
Figura 32. Mapa nacional de precipitación, 2017	43

Figura 33. Mapa nacional de precipitación, 2018.....	44
Figura 34. Mapa nacional de temperatura, 2013.....	45
Figura 35. Mapa nacional de temperatura, 2014.....	46
Figura 36. Mapa nacional de temperatura, 2015.....	47
Figura 37. Mapa nacional de temperatura, 2016.....	48
Figura 38. Mapa nacional de temperatura, 2017.....	49
Figura 39. Mapa nacional de temperatura, 2018.....	50
Figura 40. Mapa nacional de humedad relativa, 2013.....	51
Figura 41. Mapa nacional de humedad relativa, 2014.....	52
Figura 42. Mapa nacional de humedad relativa, 2015.....	53
Figura 43. Mapa nacional de humedad relativa, 2016.....	54
Figura 44. Mapa nacional de humedad relativa, 2017.....	55
Figura 45. Mapa nacional de humedad relativa, 2018.....	56
Figura 46. Mapa de precipitación, zona norte, 2013.....	82
Figura 47. Mapa de precipitación, zona norte, 2014.....	83
Figura 48. Mapa de precipitación, zona norte, 2015.....	84
Figura 49. Mapa de precipitación, zona norte, 2016.....	85
Figura 50. Mapa de precipitación, zona norte, 2017.....	86
Figura 51. Mapa de precipitación, zona norte, 2018.....	87
Figura 52. Mapa de temperatura, zona norte, 2013.....	88
Figura 53. Mapa de temperatura, zona norte, 2014.....	89
Figura 54. Mapa de temperatura, zona norte, 2015.....	90
Figura 55. Mapa de temperatura, zona norte, 2016.....	91
Figura 56. Mapa de temperatura, zona norte, 2017.....	92
Figura 57. Mapa de temperatura, zona norte, 2018.....	93
Figura 58. Mapa de humedad relativa, zona norte, 2013.....	94
Figura 59. Mapa de humedad relativa, zona norte, 2014.....	95
Figura 60. Mapa de humedad relativa, zona norte, 2015.....	96
Figura 61. Mapa de humedad relativa, zona norte, 2016.....	97
Figura 62. Mapa de humedad relativa, zona norte, 2017.....	98
Figura 63. Mapa de humedad relativa, zona norte, 2018.....	99

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Rendimiento potencial del cultivo del maíz.....	4
Tabla 2. Precio anual promedio del maíz a nivel mayorista	5
Tabla 3. Rendimiento potencial del cultivo del arroz	8
Tabla 4. Precio anual promedio del arroz a nivel mayorista.....	9
Tabla 5. Correlación bivariada arroz 2013, nacional	57
Tabla 6. Correlación bivariada maíz 2013, nacional.....	58
Tabla 7. Correlación bivariada arroz 2014, nacional	59
Tabla 8. Correlación bivariada maíz 2014, nacional.....	60
Tabla 9. Correlación bivariada arroz 2015, nacional	61
Tabla 10. Correlación bivariada maíz 2015, nacional.....	62
Tabla 11. Correlación bivariada arroz 2016, nacional	63
Tabla 12. Correlación bivariada maíz 2016, nacional.....	64
Tabla 13. Correlación bivariada arroz 2017, nacional	65
Tabla 14. Correlación bivariada maíz 2017, nacional.....	66
Tabla 15. Correlación bivariada arroz 2018, nacional	67
Tabla 16. Correlación bivariada maíz 2018, nacional.....	68
Tabla 17. Resumen modelo de regresión lineal nacional, arroz 2013.....	69
Tabla 18. Análisis de varianza, modelo de regresión lineal nacional, arroz 2013 .	69
Tabla 19. Resumen modelo de regresión lineal nacional, maíz 2013	69
Tabla 20. Análisis de varianza, modelo de regresión lineal nacional, maíz 2013..	69
Tabla 21. Resumen modelo de regresión lineal nacional, arroz 2014.....	70
Tabla 22. Análisis de varianza, modelo de regresión lineal nacional, arroz 2014 .	70
Tabla 23. Resumen modelo de regresión lineal nacional, maíz 2014	70
Tabla 24. Análisis de varianza, modelo de regresión lineal nacional, maíz 2014..	70
Tabla 25. Resumen modelo de regresión lineal nacional, arroz 2015.....	71
Tabla 26. Análisis de varianza, modelo de regresión lineal nacional, arroz 2015 .	71
Tabla 27. Resumen modelo de regresión lineal nacional, maíz 2015	71
Tabla 28. Análisis de varianza, modelo de regresión lineal nacional, maíz 2015..	71
Tabla 29. Resumen modelo de regresión lineal nacional, arroz 2016.....	72
Tabla 30. Análisis de varianza, modelo de regresión lineal nacional, arroz 2016 .	72
Tabla 31. Resumen modelo de regresión lineal nacional, maíz 2016	72
Tabla 32. Análisis de varianza, modelo de regresión lineal nacional, maíz 2016..	72
Tabla 33. Resumen modelo de regresión lineal nacional, arroz 2017.....	73
Tabla 34. Análisis de varianza, modelo de regresión lineal nacional, arroz 2017 .	73
Tabla 35. Resumen modelo de regresión lineal nacional, maíz 2017	73
Tabla 36. Análisis de varianza, modelo de regresión lineal nacional, maíz 2017..	73
Tabla 37. Resumen modelo de regresión lineal nacional, arroz 2018.....	74

Tabla 38. Análisis de varianza, modelo de regresión lineal nacional, arroz 2018 .	74
Tabla 39. Resumen modelo de regresión lineal nacional, maíz 2018	74
Tabla 40. Análisis de varianza, modelo de regresión lineal nacional, maíz 2018..	74
Tabla 41. Resumen de modelos de regresión lineal arroz 2013-2018, nacional...	75
Tabla 42. Resumen de modelos de regresión lineal maíz 2013-2018, nacional ...	75
Tabla 43. Variación de parámetros ambientales, área y precio del arroz a nivel nacional.....	76
Tabla 44. Variación de parámetros ambientales, área y precio del maíz a nivel nacional.....	76
Tabla 45. Estimación económica de la producción nacional de arroz	80
Tabla 46. Estimación económica de la producción nacional de maíz	81
Tabla 47. Correlación bivariada arroz 2013, zona norte.....	100
Tabla 48. Correlación bivariada maíz 2013, zona norte	100
Tabla 49. Correlación bivariada arroz 2014, zona norte.....	101
Tabla 50. Correlación bivariada maíz 2014, zona norte	101
Tabla 51. Correlación bivariada arroz 2015, zona norte.....	102
Tabla 52. Correlación bivariada maíz 2015, zona norte	102
Tabla 53. Correlación bivariada arroz 2016, zona norte.....	103
Tabla 54. Correlación bivariada maíz 2016, zona norte	103
Tabla 55. Correlación bivariada arroz 2017, zona norte.....	104
Tabla 56. Correlación bivariada maíz 2017, zona norte	104
Tabla 57. Correlación bivariada arroz 2018, zona norte.....	105
Tabla 58. Correlación bivariada maíz 2018, zona norte	105
Tabla 59. Resumen modelo de regresión lineal arroz 2013, zona norte	107
Tabla 60. Análisis de varianza, modelo de regresión lineal arroz 2013, zona norte	107
Tabla 61. Resumen modelo de regresión lineal maíz 2013, zona norte.....	107
Tabla 62. Análisis de varianza, modelo de regresión lineal maíz 2013, zona norte	107
Tabla 63. Resumen modelo de regresión lineal arroz 2014, zona norte	108
Tabla 64. Análisis de varianza, modelo de regresión lineal arroz 2014, zona norte	108
Tabla 65. Resumen modelo de regresión lineal maíz 2014, zona norte.....	108
Tabla 66. Análisis de varianza, modelo de regresión lineal maíz 2014, zona norte	108
Tabla 67. Resumen modelo de regresión lineal arroz 2015, zona norte	109
Tabla 68. Análisis de varianza, modelo de regresión lineal arroz 2015, zona norte	109
Tabla 69. Resumen modelo de regresión lineal maíz 2015, zona norte.....	109

Tabla 70. Análisis de varianza, modelo de regresión lineal maíz 2015, zona norte	109
Tabla 71. Resumen modelo de regresión lineal arroz 2016, zona norte	110
Tabla 72. Análisis de varianza, modelo de regresión lineal arroz 2016, zona norte	110
Tabla 73. Resumen modelo de regresión lineal maíz 2016, zona norte.....	110
Tabla 74. Análisis de varianza, modelo de regresión lineal maíz 2016, zona norte	110
Tabla 75. Resumen modelo de regresión lineal arroz 2017, zona norte	111
Tabla 76. Análisis de varianza, modelo de regresión lineal arroz 2017, zona norte	111
Tabla 77. Resumen modelo de regresión lineal maíz 2017, zona norte.....	111
Tabla 78. Análisis de varianza, modelo de regresión lineal maíz 2017, zona norte	111
Tabla 79. Resumen modelo de regresión lineal arroz 2018, zona norte	112
Tabla 80. Análisis de varianza, modelo de regresión lineal arroz 2018, zona norte	112
Tabla 81. Resumen modelo de regresión lineal maíz 2018, zona norte.....	112
Tabla 82. Análisis de varianza, modelo de regresión lineal maíz 2018, zona norte	112
Tabla 83. Resumen de modelos de regresión lineal arroz 2013-2018, zona norte	113
Tabla 84. Resumen de modelos de regresión lineal maíz 2013-2018, zona norte	113
Tabla 85. Variación de parámetros ambientales, área y precio del arroz, zona norte	114
Tabla 86. Variación de parámetros ambientales, área y precio del maíz, zona norte	114
Tabla 87. Estimación económica de la producción de arroz, zona norte	118
Tabla 88. Estimación económica de la producción de maíz, zona norte	119

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Precio anual promedio del maíz a nivel de consumidor (USD/lb)	5
Gráfico 2. Precio anual promedio del arroz a nivel de consumidor (USD/lb).....	9
Gráfico 3. Variación porcentual anual de parámetros ambientales, área y precio del arroz a nivel nacional	77
Gráfico 4. Variación porcentual anual de parámetros ambientales, área y precio del maíz a nivel nacional.....	78
Gráfico 5. Variación porcentual anual de área, precio prom. mayorista y estimación económica de la producción nacional de arroz	80
Gráfico 6. Variación porcentual anual de área, precio prom. mayorista y estimación económica de la producción nacional de maíz.....	81
Gráfico 7. Variación porcentual anual de parámetros ambientales, área y precio del arroz, zona norte	115
Gráfico 8. Variación porcentual anual de parámetros ambientales, área y precio del maíz, zona norte.....	116
Gráfico 9. Variación porcentual de área, precio prom. mayorista y estimación económica de la producción de arroz, zona norte.....	118
Gráfico 10. Variación porcentual anual de área, precio prom. mayorista y estimación económica de la producción de maíz, zona norte	119

SIGLAS

CENTA	Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal “Enrique Álvarez Córdova” Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal
CNR	Centro Nacional de Registros de El Salvador
CRRH	Comité Regional de Recursos Hidráulicos
DGEA	Dirección General de Economía Agropecuaria
DLE	Diccionario de la Lengua Española
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
GLONASS	Sistema Global de Navegación por Satélite de Rusia
GPS	Sistema de Posicionamiento Global de los Estados Unidos de América
IDW	Distancia Inversa Ponderada
INATEC	Instituto Nacional Tecnológico de Nicaragua
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía de México
INTAGRI	Instituto para la Innovación Tecnológica en Agricultura de México
MAG	Ministerio de Agricultura y Ganadería de El Salvador
MARN	Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador
MDE	Modelo Digital de Elevación
NASA	Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio de los Estados Unidos de América
OLI	Sensor Operacional de Imágenes en Tierra
PROCISUR	Programa Cooperativo para el Desarrollo Tecnológico Agroalimentario y Agroindustrial del Cono Sur
SIG	Sistemas de Información Geográfica
SRC	Sistema de Referencia de Coordenadas
TIRS	Sensor Termal de Infrarrojos
UNAB	Universidad Dr. Andrés Bello, de El Salvador
USD	Dólares de los Estados Unidos de América
USGS	Servicio Geológico de los Estados Unidos
WMO	Organización Meteorológica Mundial

ABREVIATURAS

Acum.	Acumulado
Ha	Hectárea
Lb.	Libra
Mm	Milímetro
msnm	Metros Sobre el Nivel del Mar
Prom.	Promedio
qq	Quintal
R	Coefficiente de correlación
R ²	Coefficiente de determinación
s.f.	sin fecha
Sig.	Significancia
°C	Grados centígrados
HR%	Humedad relativa

PRÓLOGO

En El Salvador, ya es conocido que en ocasiones la producción de granos básicos es afectada por la variación de parámetros ambientales como la precipitación, temperatura y humedad relativa, entre otros aspectos edafoclimáticos; sin embargo, es poco explorada la posibilidad de articular la economía con sistemas de información geográfica, lo cual incluye estimaciones geoespaciales a nivel nacional, utilizando teledetección y fotogrametría, conociendo así, cómo la producción de granos básicos ha sido afectada o beneficiada por los parámetros ambientales ya mencionados.

En esta edición del informe de la investigación “Estimación económica de efectos por variabilidad de parámetros ambientales en la producción de granos básicos, zona norte, El Salvador 2013-2018”, se presenta un análisis espacial y estadístico, con lo que se demuestra cómo la producción presentó una fluctuación positiva, negativa o neutra, según las condiciones meteorológicas de cada uno de los años de estudio. Es importante hacer énfasis que el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) declaró sequía severa en el año 2015.

Por tanto, el presente informe da continuidad a la propuesta de articulación de diferentes áreas de conocimiento iniciada con la investigación para el periodo 2013-2017: economía, administración y comercio, agronomía (específicamente la rama de agricultura) y tecnología (con sistemas de información geográfica). En este sentido, y ahora para el periodo 2013-2018, se demuestra cómo la economía puede realizar estimaciones con el apoyo de la tecnología de teledetección y fotogrametría, tanto a nivel nacional como para la zona norte.

Para realizar la presente investigación del área de economía, administración y comercio, se han utilizado los resultados del proyecto de investigación 2019 del área de tecnología de nuestra Universidad, retomando específicamente las capas vectoriales de áreas estimadas de cultivo de maíz y arroz, además de ejecutar la interpolación de datos de precipitación, temperatura y humedad relativa, de las estaciones meteorológicas del MARN, obtenidos mediante solicitud directa al Observatorio Ambiental de dicho Ministerio. Por otra parte, se han utilizado como referencia los precios promedio anuales de maíz y arroz reportados por la Dirección General de Economía Agropecuaria, perteneciente al Ministerio de Agricultura y Ganadería de El Salvador.

Finalmente, presento este informe como fuente de consulta que será útil para Instituciones Estatales, Gobiernos Municipales y Organizaciones No Gubernamentales relacionadas con la producción de granos básicos y el estudio de parámetros ambientales; ya que esta investigación cuenta con información actualizada y sometida a procedimientos estadísticos.

Licda. MAE. *DHC*. Ana Marta Concepción Moreno de Araujo, Rectora.

RESUMEN

Esta investigación permitió articular tres diferentes ramas de conocimiento: economía, agronomía (específicamente la agricultura) y sistemas de información geográfica, para estimar la producción de maíz y arroz en el periodo 2013-2018.

La base de datos utilizada para el análisis fue proporcionada por el Observatorio Ambiental del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador (MARN). Para las visitas de campo en áreas de producción de maíz y arroz, se contó con la orientación de la agencia de extensión del Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal “Enrique Álvarez Córdova” del municipio de Chalatenango.

Los resultados de la investigación se presentan tanto a nivel nacional, como para la zona norte, compuesta por los departamentos de Chalatenango y Cabañas.

La base de datos fue geoprocesada mediante la herramienta denominada “IDW” (distancia inversa ponderada), con la que se obtuvieron capas ráster interpoladas de todos los parámetros ambientales a nivel nacional y posteriormente para la zona norte. Con dichas capas fue posible elaborar mapas de distribución espacial de precipitación, temperatura y humedad relativa, logrando obtener los valores mínimos, máximos y promedios, además de modelos de regresión lineal múltiple, donde se evidencia en qué porcentaje la variación en las áreas de cultivo de maíz y arroz puede ser explicada a partir de la variabilidad en uno o más parámetros ambientales.

Según los resultados obtenidos, se ha comprobado que, en un buen número de casos, la fluctuación de los parámetros ambientales ha presentado asociación con la variación en las áreas estimadas de cultivo para cada año. En términos generales, un aumento en la temperatura, ocasiona una disminución en la humedad relativa y en la precipitación, lo que, a su vez, afecta negativamente a los cultivos incluidos en esta investigación.

ABSTRACT

This research allowed to articulate three different branches of knowledge: economics, agronomy (specifically agriculture) and geographic information systems, to estimate the production of corn and rice in the 2013-2018 period.

The database used for the analysis was provided by the Environmental Observatory of the Ministry of Environment and Natural Resources of El Salvador (MARN). For field visits in areas of corn and rice production, orientation and guidance was provided by the extension agencies of the National Center of Agricultural and Forestry Technology "Enrique Álvarez Córdova" of the municipality of Chalatenango.

The results of the research are presented both nationally and by the northern zone; integrated by Chalatenango and Cabañas.

The database was geoprocesed using the tool called "IDW" (inverse distance weighted), with which interpolated raster layers of all environmental parameters were obtained nationally and subsequently for the northern zone. With these layers it was possible to elaborate maps of spatial distribution of precipitation, temperature and relative humidity, obtaining the minimum, maximum and average values, in addition to multiple linear regression models, where it is evidenced in what percentage the variation in the areas of cultivation of corn and rice can be explained from the variation in one or more environmental parameters.

According to the results obtained, it has been proven that, in a good number of cases, the variability of the environmental parameters has been associated with the variation in the estimated cultivation areas for each year. In general terms, an increase in temperature causes a decrease in relative humidity and precipitation, which, in turn, negatively affects the crops included in this research.

1. INTRODUCCIÓN

En El Salvador, los fenómenos meteorológicos como la sequía o en caso contrario, el exceso de precipitación en periodos cortos de tiempo, afectan de diversas formas, por ejemplo: en términos de infraestructura, daños materiales, o la pérdida parcial o total de cultivos. En este sentido, la presente investigación da continuidad a la propuesta realizada en la investigación del año 2018, donde se planteaba la articulación de la economía, sistemas de información geográfica y agronomía (específicamente la agricultura), para estimar económicamente los efectos de la variabilidad de los parámetros ambientales precipitación, temperatura y humedad relativa, en la producción de granos básicos, puntualmente maíz y arroz, mediante teledetección y fotogrametría.

La propuesta de articular las áreas ya mencionadas, consiste en el uso de técnicas de teledetección, fotogrametría y geoprocésamiento para obtener capas vectoriales y capas ráster, áreas estimadas de los cultivos incluidos y mapas digitales; y posteriormente buscar coeficientes de correlación y determinación de las áreas estimadas con información de la base de datos de parámetros ambientales, además de utilizar el rendimiento de cultivos y precios promedio anuales de maíz y arroz para el periodo de estudio; demostrando cómo la economía se puede auxiliar de bases de datos meteorológicas y Sistemas de Información Geográfica, para realizar estimaciones y así tomar decisiones.

En esta investigación se han incluido las capas vectoriales de áreas estimadas de cultivo de maíz y arroz para el periodo 2013-2018 obtenidas en el proyecto 2019 del área de Tecnología de la Universidad Dr. Andrés Bello (UNAB). Por otra parte, la base de datos de parámetros ambientales: precipitación, temperatura y humedad relativa, fue solicitada y posteriormente proporcionada por el Observatorio Ambiental, perteneciente al Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Para facilitar la interpretación de los resultados de la investigación, se presentan algunos elementos teóricos fundamentales sobre los cultivos estudiados, datos sobre rendimiento y precio, generalidades sobre Sistemas de información geográfica, además del procesamiento estadístico y análisis de datos.

Cultivo del maíz

✓ Generalidades

El cultivo del maíz (nombre científico: *Zea mays*), es originario de los trópicos de América Latina, de gran importancia en la canasta básica alimenticia de la población salvadoreña, forma parte de la familia de las Gramíneas (Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal "Enrique Álvarez Córdova" -CENTA-, 2014; e Instituto Nacional Tecnológico de Nicaragua -INATEC-, 2017).

✓ Morfología

La planta de maíz posee raíces fasciculadas que ayudan a fijar la planta al suelo, tallos simples sin ramificaciones que pueden alcanzar los 4 metros de altura, flores monoicas con inflorescencia masculina (panícula) y femenina (espádice) en la misma planta, hojas largas con extremos afilados y frutos conocidos como mazorcas, que están compuestos por determinada cantidad de granos (INATEC, 2017).

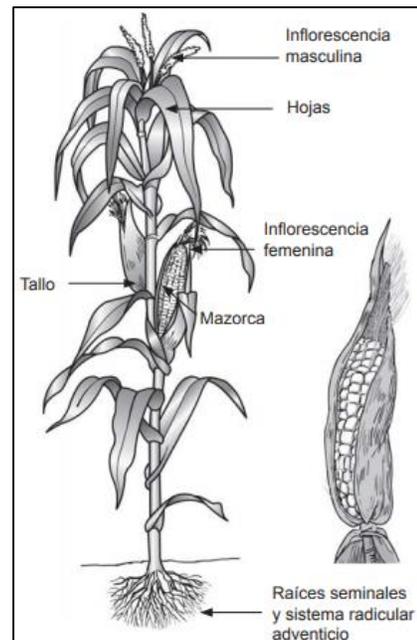
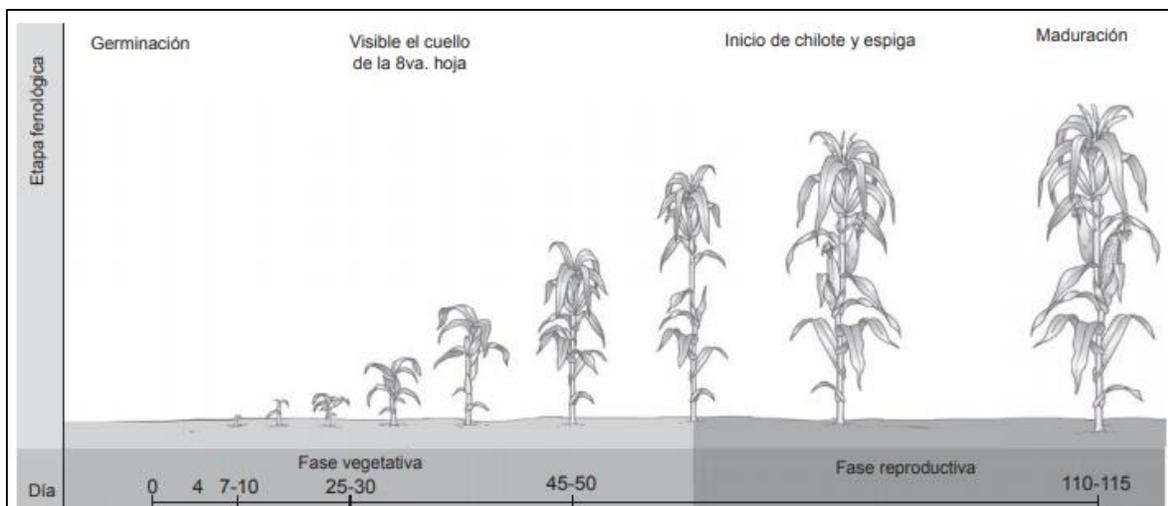


Figura 1. Morfología de la planta de maíz

✓ Etapas fenológicas

Según el Instituto para la Innovación Tecnológica en Agricultura de México (INTAGRI)², las etapas fenológicas o fases de desarrollo de la planta de maíz se dividen en dos: la fase vegetativa (que va desde la siembra hasta antes de la aparición de las estructuras reproductivas) y la fase reproductiva (la cual inicia cuando se visualiza la espiga del maíz y termina con la madurez del cultivo).

² <https://www.intagri.com/articulos/fitosanidad/la-fenologia-del-maiz-y-su-relacion-con-la-incidencia-de-plagas>



Fuente: INATEC, 2017

Figura 2. Etapas fenológicas del cultivo de maíz

✓ Requerimientos edafoclimáticos

Estos requerimientos hacen referencia a las necesidades de la planta respecto a temperatura, suelo, agua, etc. El cultivo del maíz necesita entre 500 y 700 mm de precipitación distribuida durante el ciclo del cultivo. El déficit hídrico es un factor que limita en gran medida la producción de maíz en El Salvador. Sin embargo, el cultivo también es muy sensible al encharcamiento, producido por exceso de agua del riego mecánico, o por la concentración de precipitación en periodos cortos de tiempo, en un terreno que no tenga una pendiente adecuada. Por otra parte, para un buen desarrollo de la planta, la temperatura debe oscilar entre los 20 y 27°C y se debe cultivar a una altura que vaya de los cero a los 1000 metros sobre el nivel del mar (CENTA, 2014).

En cuanto a la textura del suelo, las plantas de maíz se desarrollan de mejor manera en suelos francos, franco-arenosos y arenosos, cuyo pH se encuentre entre 5.5 y 7.8. El cultivo del maíz se adapta a diversos tipos de suelos, donde puede producir buena cosecha y; en términos generales, los suelos idóneos para el cultivo del maíz deben contener suficiente materia orgánica, poseer un buen drenaje y con elevada capacidad de infiltración y retención de humedad (CENTA, 2014).

La planta de maíz tiene una amplia capacidad de aprovechamiento de las oportunidades que ofrece el medio ambiente, con un alto nivel de respuesta a los efectos de la luz (CENTA, 2014).

✓ Rendimiento potencial

El potencial de rendimiento del cultivo del maíz está en función de la variedad utilizada. Cabe mencionar que el “rendimiento potencial” hace referencia a la producción esperada bajo condiciones óptimas para el desarrollo del cultivo; para el caso de esta investigación, la producción se estima en quintales por manzana. En la tabla se presentan las variedades híbridas y de polinización libre, liberados y recomendados por CENTA en su guía técnica (2014).

Variedad	Rendimiento (qq/mz)
H-59	95 – 100
Oro blanco	95 – 100
Platino	95 – 102
CENTA Pasaquina	65
CENTA Protemás	75
CENTA Dorado	60 – 80

Fuente: elaboración propia a partir de CENTA (2014).

Tabla 1. Rendimiento potencial del cultivo del maíz

✓ Precio promedio anual

Los precios promedio anuales del maíz, se obtuvieron de los Anuarios de Estadísticas Agropecuarias de la Dirección General de Economía Agropecuaria (DGEA) del Ministerio de Agricultura y Ganadería de El Salvador (MAG). Cada precio, hace referencia a la media obtenida de los precios de un producto durante un año. A partir de los datos obtenidos, se presenta la variación de precios en dos ámbitos: los precios a nivel de mayorista; es decir, destinados a compradores de gran escala (generalmente para una posterior comercialización) y los precios a nivel de consumidor final.

○ Mayorista

A nivel mayorista, los precios anuales promedio del maíz han fluctuado durante el periodo 2013-2018. El precio promedio más alto, se registró en el año 2015; llegando a \$20.03 por quintal; seguido del precio del año 2018 (\$17.47). El precio promedio más bajo se identificó en el año 2017 (\$12.20). Hay que mencionar que las variaciones en los precios son el resultado de diversos factores tales como la oferta, la demanda, la producción, el comercio exterior, factores agroclimáticos, entre otros.

A continuación, se presentan los precios anuales promedio del maíz a nivel mayorista registrados durante el periodo de tiempo investigado:

Año	Precio a nivel mayorista (USD/qq)
2013	\$14.34
2014	\$16.58
2015	\$20.03
2016	\$18.20
2017	\$12.20
2018	\$17.47

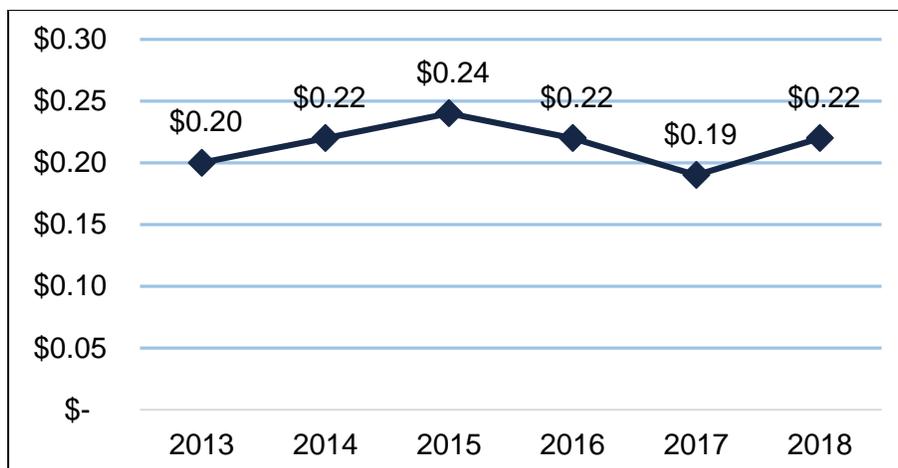
Fuente: elaboración propia a partir de los anuarios de las estadísticas de la DGEA

Tabla 2. Precio anual promedio del maíz a nivel mayorista

○ Consumidor

A nivel de consumidor, los precios anuales promedio del maíz han fluctuado durante el periodo 2013-2018; con una tendencia similar a los precios de nivel mayorista. El precio promedio más alto, se registró en el año 2015; alcanzando los \$0.24 por libra; a su vez, el precio más bajo del periodo de estudio corresponde al año 2017 (\$0.19).

A continuación, se presentan los precios anuales promedio a nivel de consumidores, registrados durante el periodo de estudio:



Fuente: elaboración propia a partir de los anuarios de estadísticas de la DGEA

Gráfico 1. Precio anual promedio del maíz a nivel de consumidor (USD/lb)

Cultivo del arroz

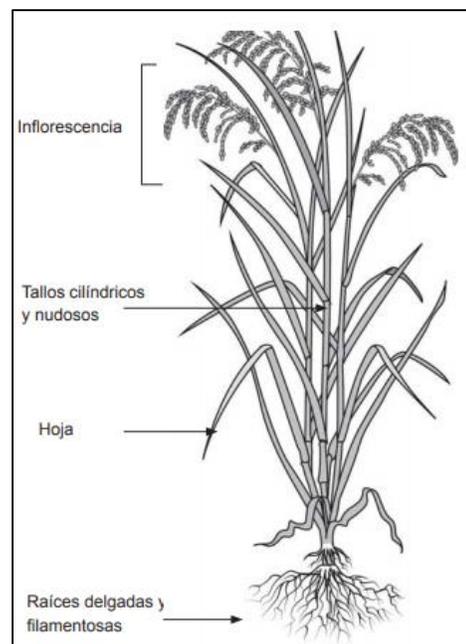
✓ Generalidades

El arroz (nombre científico: *Oryza sativa*), es un cultivo originario del sudeste asiático, principalmente de la India, que ocupa el cuarto lugar de importancia entre los granos básicos de la canasta básica alimenticia de la población salvadoreña. Al igual que el maíz, pertenece a la familia de las Gramíneas. Los departamentos más productores de arroz en el país son: La Libertad, Chalatenango, Cuscatlán, San Vicente y Ahuachapán (INATEC, 2017; y CENTA, 2019).

✓ Morfología

Se caracteriza por tener un sistema radicular con dos tipos de raíces: las seminales o temporales y las secundarias adventicias o permanentes. El tallo de las plantas de arroz es ramificado y puede medir hasta 1.8 metros de altura (INATEC, 2017).

Las hojas, estas están distribuidas en forma alterna a lo largo del tallo. Debajo de la panícula se desarrolla la hoja bandera. Además, poseen flores en forma de panícula determinada que se localiza sobre el vástago terminal (INATEC, 2017).

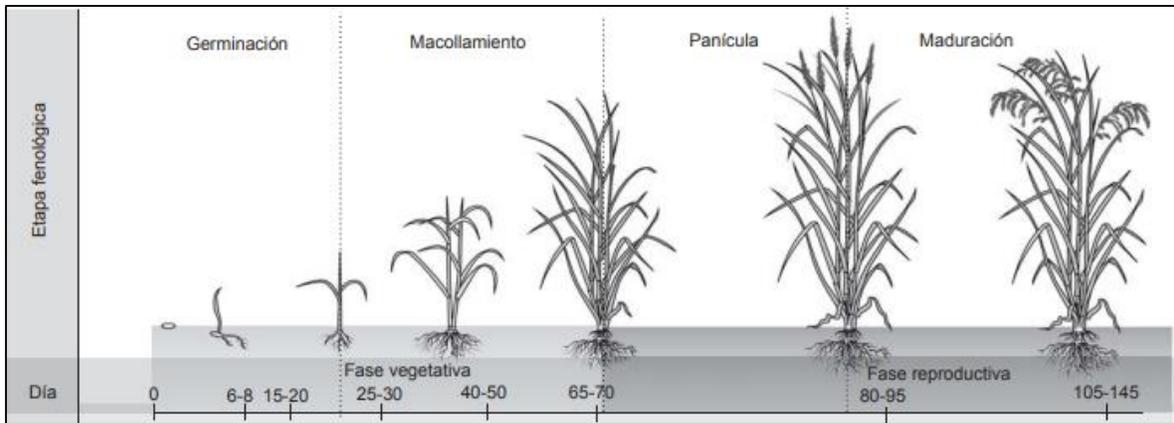


Fuente: INATEC, 2017

Figura 3. Morfología de la planta de arroz

✓ Etapas fenológicas

Las etapas fenológicas o fases de desarrollo del cultivo del arroz se dividen en dos: la fase vegetativa (que va desde la siembra, la germinación hasta el macollamiento; es decir, la aparición de los primeros hijos de la planta) y la fase reproductiva (la cual se caracteriza por la emergencia de la hoja bandera, la panícula, la floración y maduración). Durante la etapa reproductiva, es necesario que la planta de arroz tenga acceso a luz solar intensa; ya que es en esta etapa donde ocurre el llenado de granos y la fotosintetización del 60% de los carbohidratos (INATEC, 2017).



Fuente: INATEC, 2017

Figura 4. Etapas fenológicas del cultivo de arroz

✓ Requerimientos edafoclimáticos

En cuanto a estos requerimientos, en general, el cultivo del arroz necesita entre 800 y 2000 mm de precipitación distribuida durante el ciclo del cultivo. Sin embargo, es un cultivo de alto requerimiento hídrico. En zonas con menos de 1000 mm de precipitación pluvial, es preciso implementar sistemas de riego para contrarrestar las deficiencias hídricas del cultivo; por tanto, cuando hay estrés hídrico o sequía puede ocasionar pérdidas graves y si no se dispone de agua para riego, se recomienda que los productores se dediquen a otro tipo de cultivo (INATEC, 2017; y CENTA, 2019).

Los suelos deben ser de topografía plana, con buena fertilidad. Se debe evitar sembrar arroz en terrenos arenosos o con pendientes onduladas; por lo que se recomienda cultivar en suelos francos, franco-arcillosos y arcillosos; ya que en suelos frágiles con riesgo de erosión se deben efectuar labores para evitar su degradación. El pH del suelo para el desarrollo óptimo del cultivo deber ser entre 5 y 7.5 (INACTEC, 2017; y CENTA, 2019).

Por otra parte, la temperatura debe encontrarse en el rango de 22 a 32°C y se debe cultivar a una altitud que vaya de cero a 2,500 metros sobre el nivel del mar (CENTA, 2019).

✓ Rendimiento potencial

El potencial de rendimiento del cultivo del arroz está en función de la variedad utilizada. En la tabla se presentan las variedades generadas, liberadas y recomendadas por CENTA y presentados en diversos boletines técnicos.

Variedad	Rendimiento (qq/mz)
CENTA A-7	140
CENTA A-8	147
CENTA A-9	181
CENTA A-10	195
CENTA A-11	210
CENTA A-RAZ	200.5

Fuente: elaboración propia a partir de CENTA (2019)

Tabla 3. Rendimiento potencial del cultivo del arroz

✓ Precio promedio anual

Al igual que en el caso del maíz, los precios promedio del arroz fueron obtenidos de los anuarios de estadísticas agropecuarias disponibles en la página web de la Dirección General de Economía Agropecuaria del MAG.

○ Mayorista

A nivel mayorista, los precios promedio anuales han variado en el periodo de estudio. El precio promedio por quintal más alto fue identificado en 2014 (\$40.44). El precio más bajo se registró en el año 2017, siendo de \$35.40. Es importante mencionar que; similar a los precios del maíz, las variaciones en los precios del arroz son el resultado de la interacción de variables como: la oferta y demanda del producto, factores agroclimáticos, la producción, el comercio exterior, entre otros.

A continuación, se presentan los precios anuales promedio de arroz a nivel mayorista, registrados durante el periodo 2013-2018:

Año	Precio a nivel mayorista de (USD/qq)
2013	\$38.05
2014	\$40.44
2015	\$38.26
2016	\$36.80
2017	\$35.40
2018	\$35.84

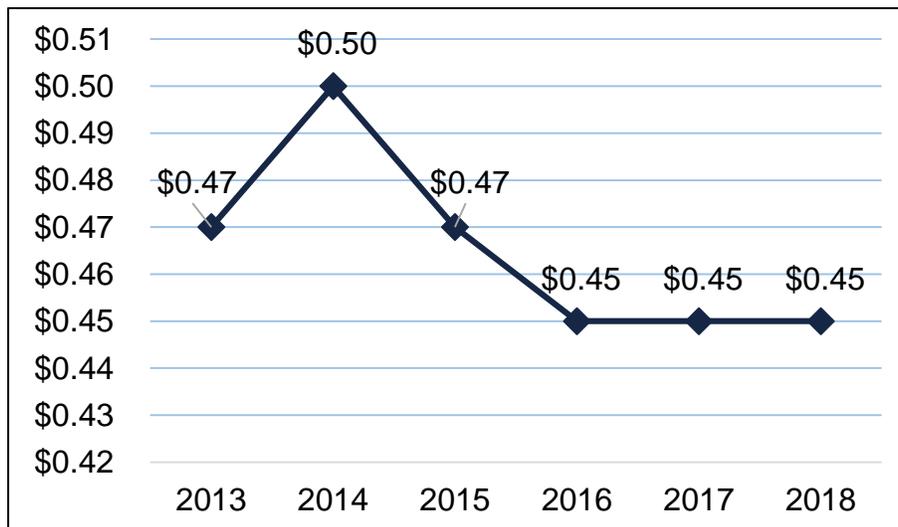
Fuente: elaboración propia a partir de los anuarios de estadísticas de la DGEA

Tabla 4. Precio anual promedio del arroz a nivel mayorista

○ Consumidor

Los precios promedio anuales del arroz a nivel consumidor, han variado durante el periodo de estudio de manera diferente a los precios a nivel mayorista. El precio promedio anual más alto, se registró en el año 2014 (\$0.50 por libra). El precio más bajo se identificó en los años 2016 a 2018, siendo de \$0.45.

A continuación, se presentan los precios anuales promedio a nivel de consumidor registrados durante el periodo de tiempo investigado:



Fuente: elaboración propia a partir de los anuarios de estadísticas de la DGEA

Gráfico 2. Precio anual promedio del arroz a nivel de consumidor (USD/lb)

Parámetros ambientales

En ocasiones los conceptos tiempo y clima se utilizan como términos equivalentes, cuando en realidad son cuestiones distintas, por lo que es útil contar con las definiciones.

✓ Tiempo

Según el Comité Regional de Recursos Hidráulicos (CRRH)³, el tiempo:

refleja las características que presenta el fenómeno en lapsos que van desde horas hasta varios días; los cuales se expresan en valores de variables meteorológicas, tales como temperatura, humedad relativa, presión, dirección y velocidad del viento, visibilidad, cantidad de lluvia, entre otros.

Por tanto, el tiempo hace referencia a “las condiciones meteorológicas en un instante determinado, dicho instante es un lapso que puede durar horas, días o inclusive semanas” (Campos Aranda, 2005, p. 14).

✓ Clima

Para la Organización Meteorológica Mundial (WMO)⁴, el clima hace referencia a la “síntesis de las condiciones meteorológicas en un lugar determinado, caracterizada por estadísticas a largo plazo (valores medios, varianzas, probabilidades de valores extremos, etc.) de los elementos meteorológicos en dicho lugar”. También, la WMO⁵ afirma que el clima puede explicarse a través de descripciones estadísticas de las tendencias y variabilidad de elementos como la temperatura, presión atmosférica y vientos.

Dado lo anterior, el tiempo y el clima son aspectos importantes para la determinación de los sistemas de cultivo y sus rendimientos. Por otra parte, también existen propiedades geográficas que propician condiciones meteorológicas particulares: latitud, altitud, relieve; además del tipo de suelo, distribución de tierra y agua, entre otros (Campos Aranda, 2005).

³ <http://recursoshidricos.org/tiempo/>

⁴ <http://wmo.multitransms.com/MultiTransWeb/TermBase/Account.mvc/DirectAccess?languageCode=en-CA&username=Guest>

⁵ https://library.wmo.int/pmb_ged/wmo_100_es.pdf

Puntualmente los parámetros ambientales incluidos en esta investigación son:

✓ Temperatura

La temperatura puede definirse como una “magnitud física que expresa el grado o nivel de calor de los cuerpos o del ambiente”⁶. Para el crecimiento de los diferentes cultivos, existen rangos de temperatura óptima que propician las condiciones para el proceso de acumulación de materia necesaria para la fotosíntesis (Campos Aranda, 2005).

✓ Humedad relativa

Según la WMO, la humedad relativa es la “relación porcentual a una presión y temperaturas dadas entre el peso molecular en gramos del vapor de agua y el peso molecular en gramos que el aire tendría si estuviese saturado de agua a la misma presión y temperatura”⁷.

✓ Precipitación

La precipitación es básicamente el “agua procedente de la atmósfera, y que en forma sólida o líquida se deposita sobre la superficie de la tierra”⁸. La precipitación puede manifestarse en forma de lluvia, granizo, nieve, entre otros.

Partiendo de que esta investigación es la continuación de una propuesta de vinculación entre las áreas de economía, agronomía y Sistemas de información geográfica; se incluye un apartado de aspectos fundamentales sobre esta última área de conocimiento.

⁶ Diccionario de la lengua española, <https://dle.rae.es/?id=ZQ9rRqa>

⁷ <http://wmo.multitransms.com/MultiTransWeb/Web.mvc>

⁸ Diccionario de la lengua española, <https://dle.rae.es/?id=TvqfpKg>

Sistemas de Información Geográfica

De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Geografía de México -INEGI- (2014), los sistemas de información geográfica (SIG) son un “conjunto de herramientas diseñadas para obtener, almacenar, recuperar y desplegar datos espaciales del mundo real”.

En ese sentido, los SIG incluyen bases de datos, mapas, imágenes (ya sean capas ráster o imágenes georreferenciadas), equipo de captura de datos, personal especializado, programas para el procesamiento de datos, entre otros; los cuales brindan la información necesaria para la toma de decisiones en diferentes ámbitos.

La importancia de los SIG radica en (INEGI, 2014):

- Integrar información espacial con otro tipo de datos.
- Brinda resultados consistentes para el análisis de datos georreferenciados.
- Innovación en el procesamiento y análisis de datos.
- Permite la visualización de los datos a partir de referencias geográficas y así, establecer conexiones entre diversos fenómenos sociales, económicos y ambientales.

Por tanto, la aplicación de los SIG puede realizarse en la planificación y ordenamiento territorial, gestión de recursos naturales, gestión integral del riesgo de desastres, entre otros (INEGI, 2014).

Geográficamente hablando, los elementos de la superficie terrestre tales como ríos, bosques, lagos, cultivos, etc., pueden almacenarse y procesarse junto con sus atributos; es decir, aquellas características propias que los definen como tal (nombre, tamaño, color, etc.). Cabe mencionar que estos elementos ocupan una posición en la superficie terrestre; la cual está determinada por sus coordenadas (latitud y longitud). Además, dichos elementos tienen una forma geométrica, por lo que pueden ser representados por puntos, líneas y polígonos (Arozarena, Otero y Ezquerria, 2016).

En línea con lo anterior, los datos extraídos de las principales fuentes de información geográfica; es decir, mapas e imágenes satelitales, se pueden almacenar y representar a través de capas vectoriales y capas ráster (Arozarena, Otero y Ezquerria, 2016).

✓ Capa vectorial

Este tipo de capa proporciona información sobre la forma, el tamaño y la localización de un objeto. Gráficamente, se puede representar de tres formas: punto, línea o polígono. Por tanto, cada forma de representación será: (1) un punto definido por sus coordenadas, (2) una línea almacenada a partir del uso de geometría vectorial (es decir, líneas definidas por una magnitud, dirección y sentido) y; (3) por un polígono almacenado como una cadena de segmentos (Arozarena, Otero y Ezquerria, 2016).

✓ Capa ráster

Este tipo de capa se utiliza cuando los objetos de la superficie terrestre se describen a partir de una o varias celdas encadenadas entre sí, pero que no presentan vacíos entre ellas. Un ejemplo de este tipo de capa son las imágenes satelitales e imágenes obtenidas con dron (Arozarena, Otero y Ezquerria, 2016).

El geoprocesamiento tuvo un papel importante en esta investigación, ya que incorpora tres aspectos fundamentales de los sistemas de información geográfica: “automatización de procedimientos, análisis geoespacial y modelado de aspectos de la vida real” (Falla, 2012, p. 33). En ese sentido, se puede definir como el procesamiento de datos que permitan automatizar, documentar y modelar aspectos sociales, económicos y ambientales a partir de análisis geoespacial (Falla, 2012).

Los mapas de precipitación, temperatura y humedad relativa fueron obtenidos mediante interpolación, utilizando la herramienta de ArcGIS Pro denominada IDW (distancia inversa ponderada). Por tanto, el IDW se define como un método de interpolación que obtiene valores y construye una capa ráster, utilizando la técnica de distancia inversa ponderada, teniendo como referencia una capa vectorial de puntos, dentro de un área geográfica definida por una capa vectorial de polígono⁹.

⁹ <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/tool-reference/3d-analyst/idw.htm>

La interpolación se utilizó para efectuar cálculos de los valores aproximados (DLE, 2018) de precipitación, temperatura y humedad relativa, conociendo los valores que estos parámetros tomaban en cada una de las 22 estaciones meteorológicas, distribuidas a nivel nacional.

Al utilizar imágenes satelitales, se debe hacer referencia directa al concepto de teledetección, definido como un sistema de captura de información, teniendo como punto de partida la radiación electromagnética captada por uno o más sensores instalados en un satélite orbitando en el espacio, y tienen la capacidad de recolectar datos temáticos, topográficos, entre otros (Arozarena, Otero y Ezquerria, 2016). Para esta investigación se utilizaron imágenes del satélite Landsat 8, disponibles para descarga en uno de los sitios web¹⁰ administrado por el USGS (Servicio Geológico de Estados Unidos).

Respecto a la captura de información a través de satélites, se remonta a la década de los 60s, cuando la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio (NASA, por sus siglas en inglés¹¹) pone en órbita los primeros satélites con el fin de realizar observaciones meteorológicas; comenzando así la teledetección espacial. Actualmente, los satélites son capaces de proporcionar sistemas integrados de datos territoriales con gran resolución espacial, espectral y radiométrica, lo cual es el resultado de la radiación electromagnética transformada en información digital. Por tanto, la teledetección es útil para conocer la tierra y sus elementos; así como para detectar y cuantificar los cambios que ocurren en ella (Arozarena, Otero y Ezquerria, 2016).

Otra de las técnicas utilizadas para la captura de información de superficies agrícolas, cuerpos de agua, entre otras; es la fotogrametría, que puede definirse como:

Arte, ciencia y tecnología orientada a obtener información relevante de diversos objetos físicos de la corteza terrestre y de su medio ambiente, a través de procesos de medición e interpretación de imágenes fotográficas y de patrones de energía electromagnética radiante (Herrera, 1987; citado en Arozarena, Otero y Ezquerria, 2016, p. 67).

¹⁰ <https://earthexplorer.usgs.gov/>

¹¹ National Aeronautics and Space Administration

A partir de la implementación de la fotogrametría en diversos contextos y ámbitos, se pueden obtener observaciones completas de objetos cuyo registro ocurre de forma instantánea, y se pueden manipular y procesar con facilidad (Arozarena, Otero y Ezquerria, 2016).

Herrera (1987); citado en Arozarena, Otero y Ezquerria, (2016); clasifica a la fotogrametría en dos grandes ramas en función del tipo de fotografía utilizada:

- **Fotogrametría terrestre;** es decir, cuando la fotografía se usa en una posición tal que el eje de la cámara fotográfica resulta horizontal y paralela a la corteza terrestre.
- **Fotogrametría aérea;** es decir, cuando las fotografías utilizadas son obtenidas desde vehículos aéreos. Para esta investigación, se ha hecho uso de este tipo de fotogrametría.

Procesamiento de datos

El procesamiento de la base de datos de parámetros ambientales incluidos en esta investigación se realizó tanto en el programa SPSS versión 26 como en ArcGIS 10.7.1 y ArcGIS Pro 2.4.0.

Primero, se aborda lo referente al análisis de correlación. Para esto hay que tener en cuenta dos aspectos muy importantes: 1) que los resultados de este análisis indican el grado de relación existente entre las variables incluidas en la investigación (Triola, 2013); 2) para conocer cuantitativamente la relación entre las variables existe el coeficiente de correlación que es un valor entre 0 y 1, donde un valor más cercano a 1, señala una mayor correlación entre variables(Levin y Rubin, 2010), siendo un indicador de las variables que pueden ser incluidas en un modelo de regresión lineal múltiple, y serán las que presenten mayor correlación con la que se defina como variable dependiente. Si el modelo de regresión lineal no se ajusta a la finalidad del estudio, pueden utilizarse los modelos: cuadrático, cúbico, exponencial, entre otros, según la necesidad específica. El coeficiente de correlación será representado mediante la letra "R".

En el análisis estadístico ejecutando regresión lineal múltiple, se encuentra el coeficiente de determinación (representado como “R²”), que será interpretado como el porcentaje de variación de la variable dependiente que puede ser explicado a partir del modelo. El coeficiente de determinación puede sufrir un ajuste en su valor (que es calculado por el SPSS), según se agregue una o más variables al modelo, obteniendo así un coeficiente de determinación ajustado, representado como “R² ajustado”, (Anderson, Sweeney, Williams, Camm y Cochran, 2016), que será utilizado para comparar los modelos de regresión de esta investigación.

Otro elemento considerado en este análisis es la significancia estadística, que será representada como “p”, y será el valor que indicará la intensidad de la asociación de los valores de la variable dependiente e independientes incluidas en el modelo. El valor de “p” será más valioso, en la medida en que este tiende a cero.

Ahora, conociendo los principales componentes de la regresión lineal múltiple, se puede definir dicha regresión como un procedimiento con el cual se introduce a un modelo una variable dependiente (a predecir), y dos o más variables independientes (predictores), para determinar en qué medida los valores de la variable dependiente pueden ser predichos a partir del conjunto de variables independientes. En general, la función de un modelo de regresión lineal múltiple será de la forma $f(x) = a + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n$ (Levin y Rubin, 2010).

2. MÉTODOS

2.1. Generalidades

Esta investigación; al igual que la realizada en 2018, fue de tipo descriptiva con enfoque cuantitativo, realizando una estimación económica de los efectos de la variabilidad de parámetros ambientales en la producción de maíz y arroz, teniendo como referencia la base de datos sobre dichos parámetros, para el periodo 2013-2018. Las localidades incluidas fueron seleccionadas según los datos proporcionados por el CENTA, realizando visitas a la agencia de extensión de la institución ya mencionada, cercana a la sede regional de la UNAB en Chalatenango, solicitando información sobre las superficies cultivadas de maíz y arroz del área geográfica de trabajo de cada agencia; además de los contactos de agricultores; obteniendo una muestra por conveniencia, aplicando como criterios de selección que la persona tuviera a cargo la producción de maíz o arroz, que el terreno tuviera una extensión igual o mayor a 900 metros cuadrados y la accesibilidad del mismo. Todo lo anterior para poder ejecutar vuelos con un dron, muestrear y georreferenciar las zonas de cultivos, y posteriormente ubicar las áreas cultivadas en las imágenes satelitales.

2.2 Zonas de estudio

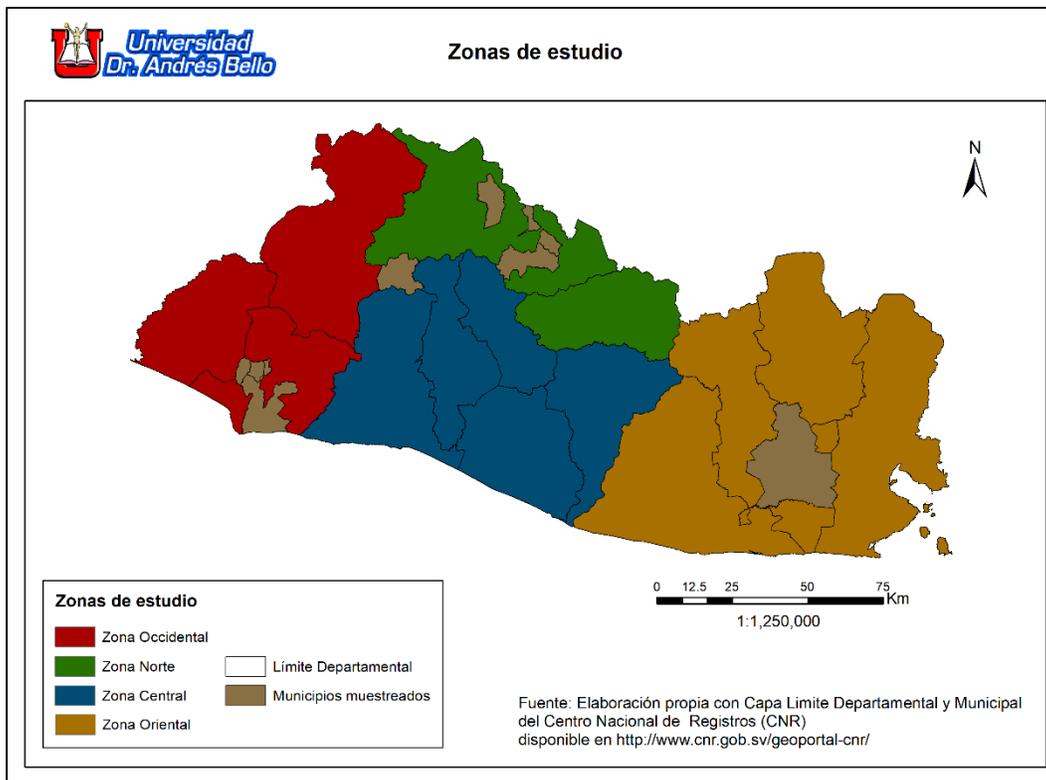


Figura 5. Mapa nacional de zonas de estudio

2.2.1 Zona norte

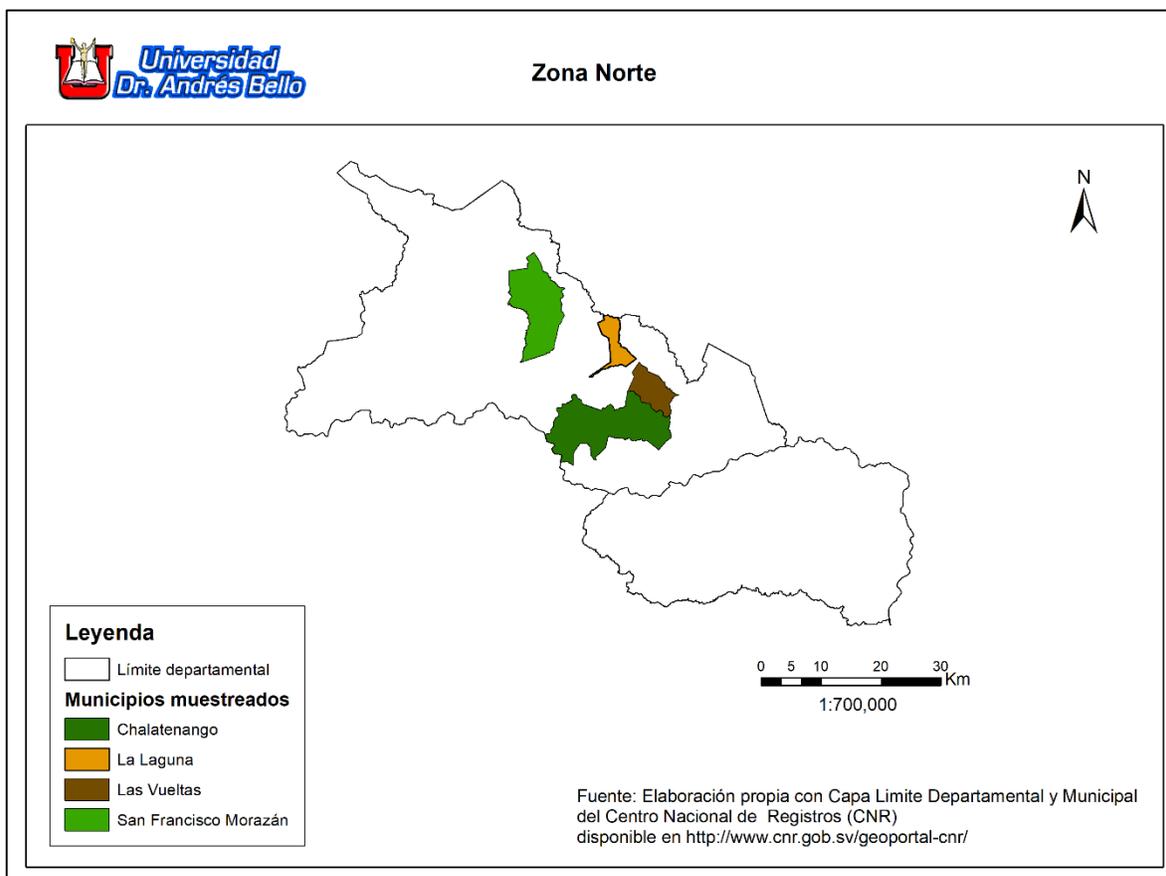


Figura 6. Mapa de Municipios muestreados, Zona Norte

De acuerdo a la información proporcionada por funcionarios de la oficina del CENTA ubicada en la cabecera departamental de Chalatenango, se identificaron cuatro municipios en los cuales se realizaron los vuelos con dron para obtener las muestras de imágenes georreferenciadas (y posteriormente ortomosaicos) de las áreas cultivadas con maíz y arroz.

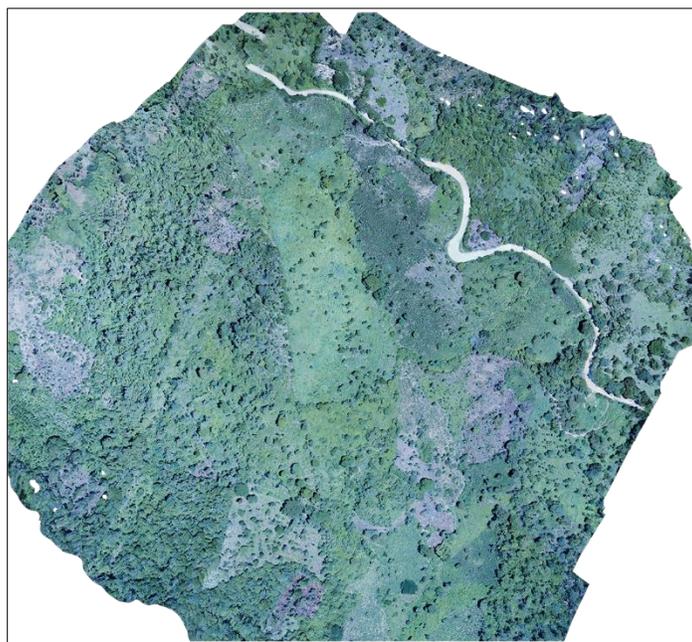
1. Chalatenango: Cantón Upatoro.
2. La Laguna: Cantón La Cuchilla.
3. Las Vueltas: zona periurbana.
4. San Francisco Morazán: zona periurbana.

Ortomosaicos



Fuente: Elaboración propia con procesamiento de imágenes de dron concesionadas.

Figura 7. Ortomosaico 1: Cantón La Cuchilla, municipio de La Laguna



Fuente: Elaboración propia con procesamiento de imágenes de dron concesionadas.

Figura 8. Ortomosaico 2: cantón La Cuchilla, Municipio de La Laguna



Fuente: Elaboración propia con procesamiento de imágenes de dron concesionadas.

Figura 9. Ortomosaico 1: cantón Upatoro, municipio de Chalatenango



Fuente: Elaboración propia con procesamiento de imágenes de dron concesionadas.

Figura 10. Ortomosaico 2: cantón Upatoro, municipio de Chalatenango



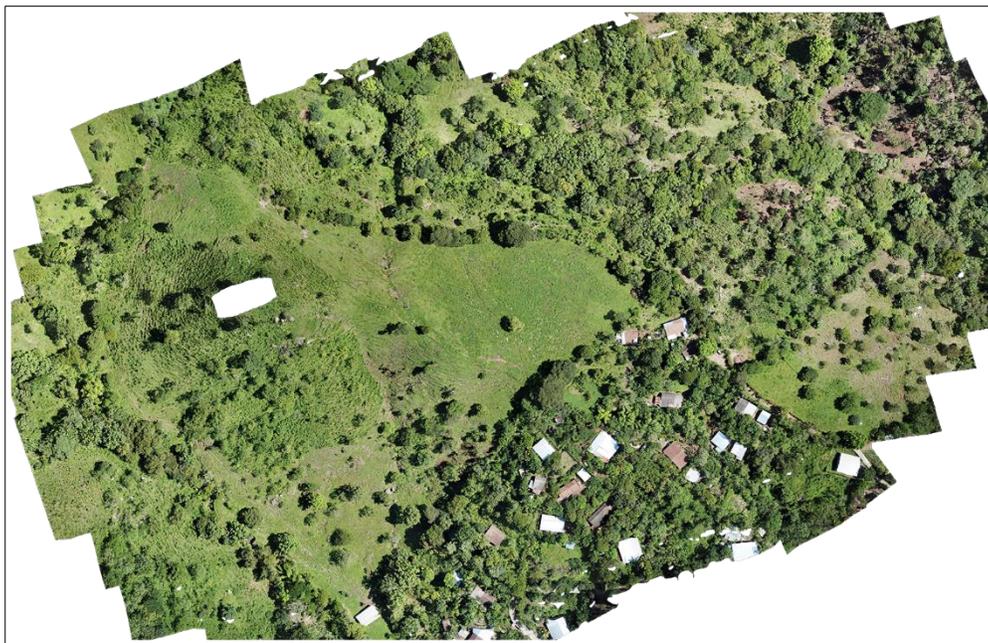
Fuente: Elaboración propia con procesamiento de imágenes de dron concesionadas.

Figura 11. Ortomosaico 3: Cantón Upatoro, municipio de Chalatenango



Fuente: Elaboración propia con procesamiento de imágenes de dron concesionadas.

Figura 12. Ortomosaico: zona periurbana, municipio de San Francisco Morazán

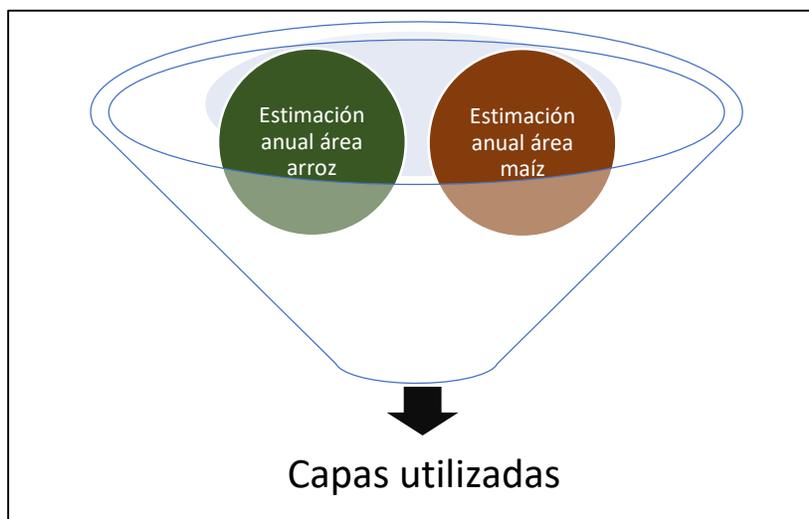


Fuente: Elaboración propia con procesamiento de imágenes de dron concesionadas.

Figura 13. Ortomosaico: zona periurbana, municipio de Las Vueltas

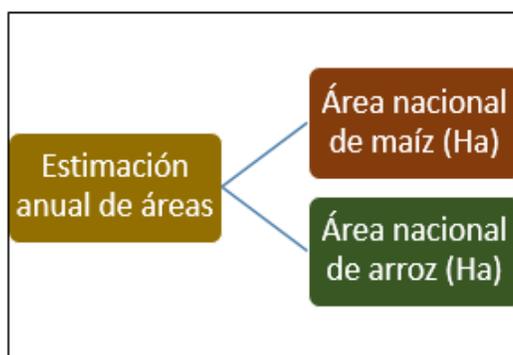
2.3 Insumos utilizados

2.3.1 Capas vectoriales (proyecto de tecnología UNAB 2019).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 14. Capas vectoriales utilizadas

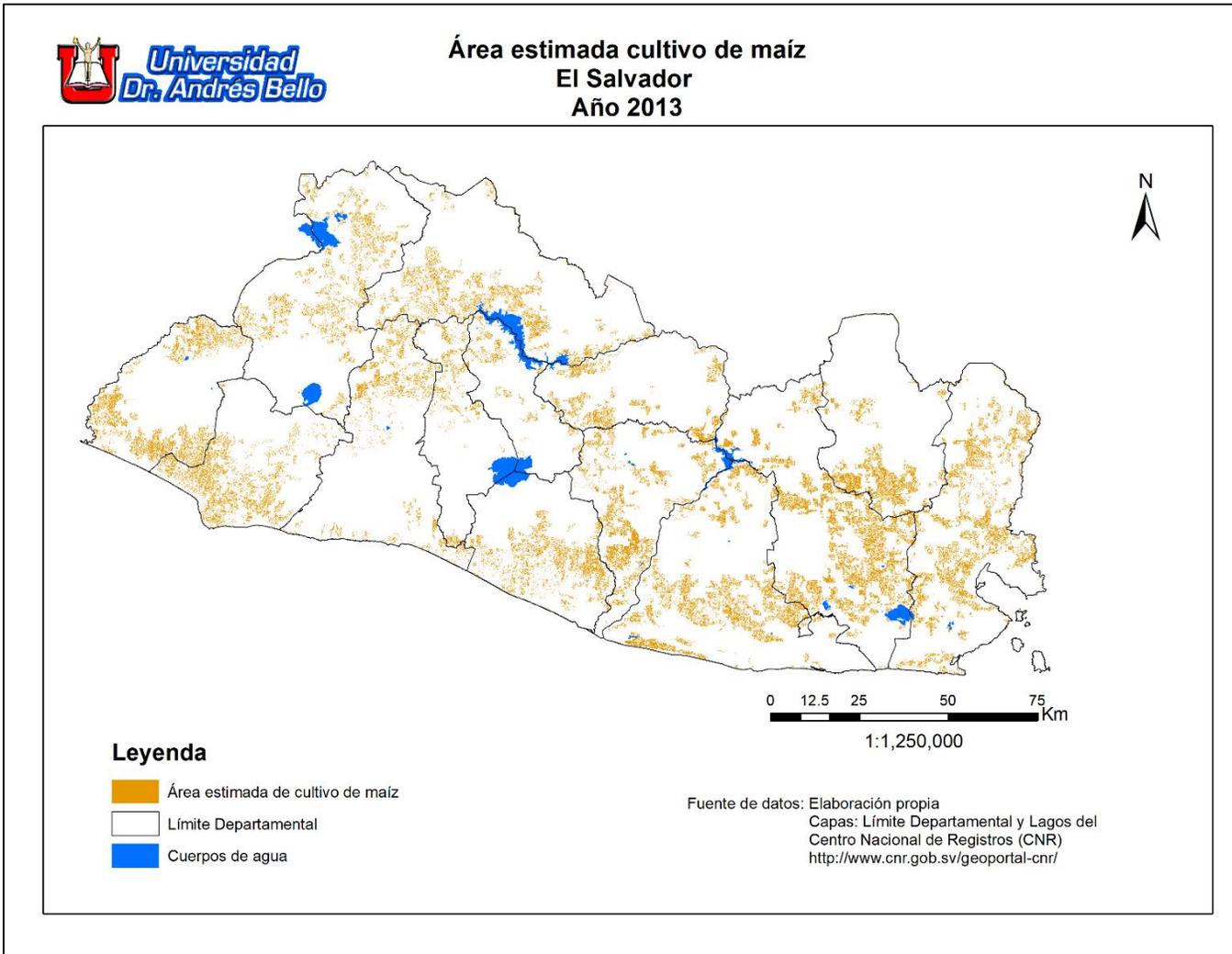


Fuente: Elaboración propia

Figura 15. Estimación anual de áreas por cultivo

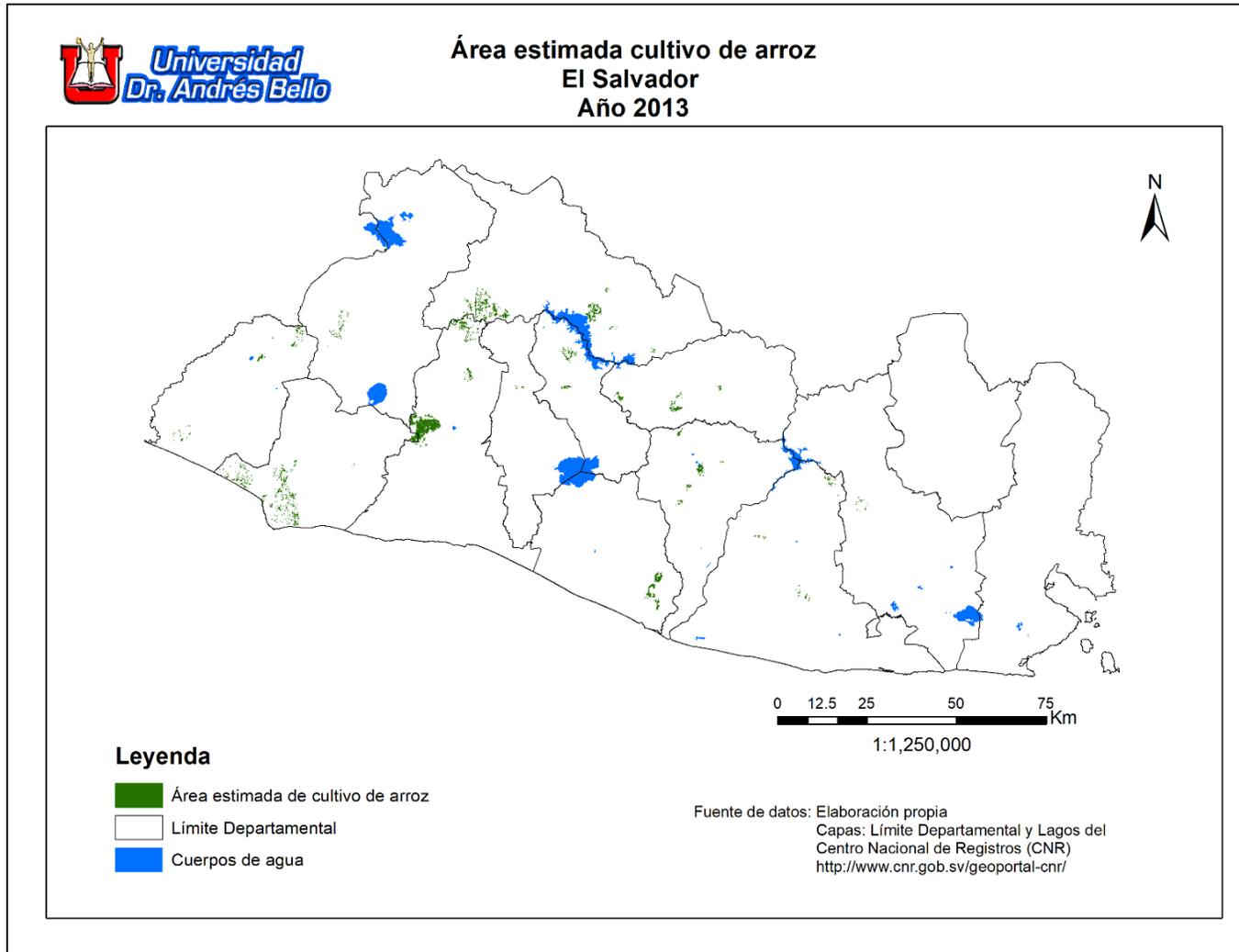
Las áreas estimadas a nivel nacional de cultivo de maíz y arroz, fueron utilizadas para determinar el rendimiento promedio posible por unidad de área de cada cultivo mencionado.

Los registros de los parámetros ambientales fueron útiles para determinar valores mínimos, máximos y promedios de lluvia para cada año, para comprender su relación con la variación en las áreas cultivadas; y por tanto, el cambio en la producción de los granos básicos incluidos en esta investigación.



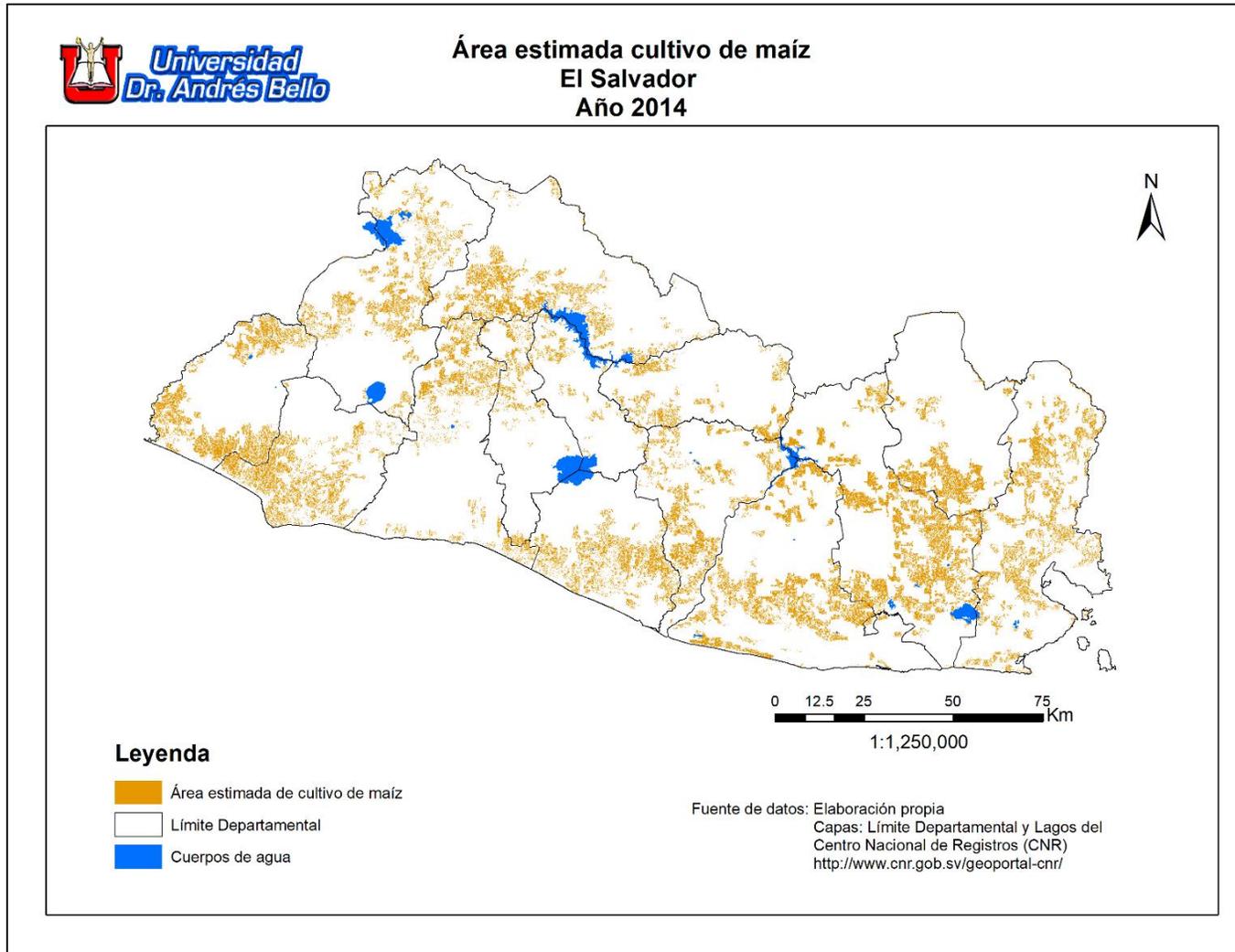
Fuente: Tomado de Rivas et al. 2020, pp.30

Figura 16. Mapa nacional, área estimada cultivo de maíz, 2013



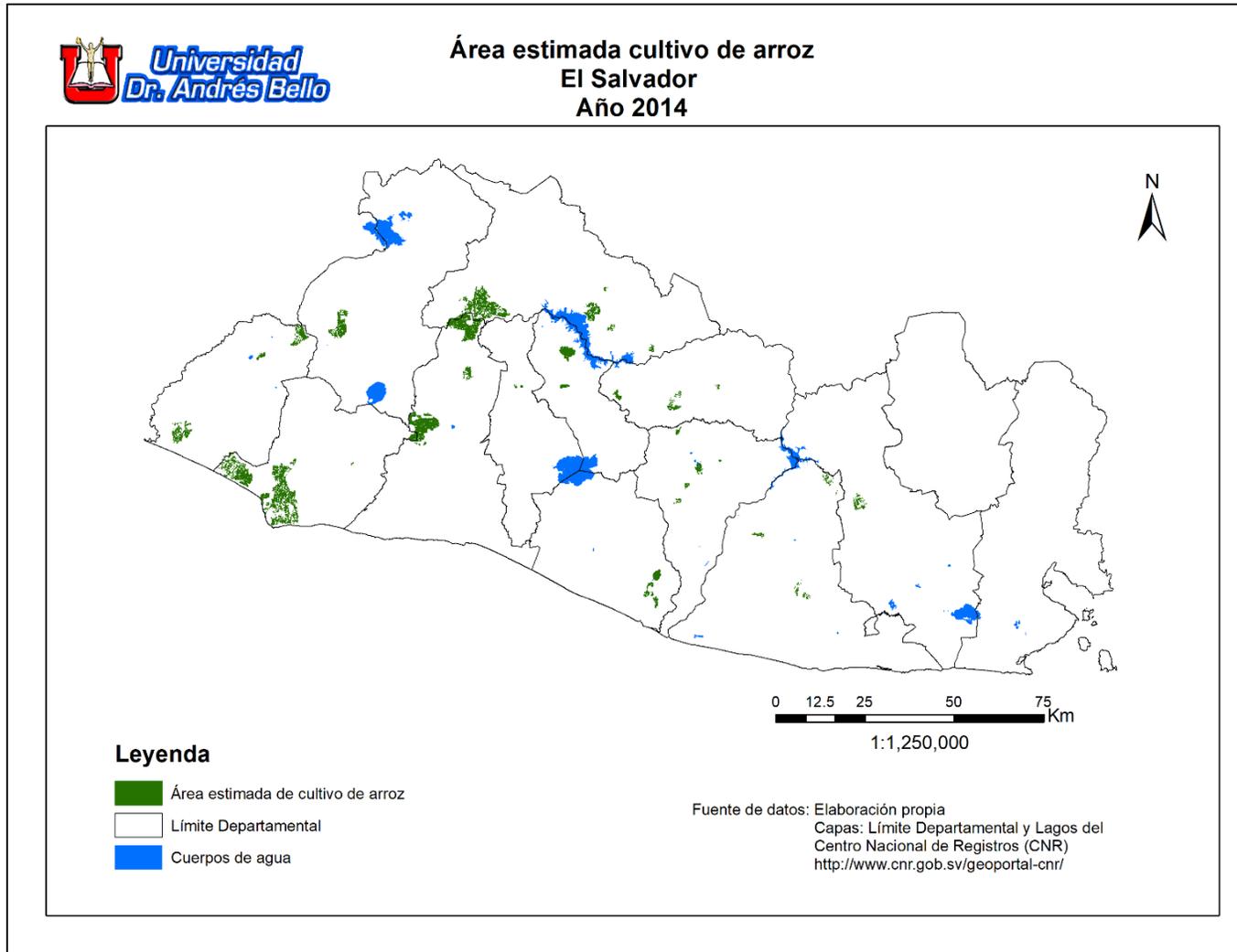
Fuente: Tomado de Rivas et al. 2020, pp.31

Figura 17. Mapa nacional, área estimada cultivo de arroz, 2013



Fuente: Tomado de Rivas et al. 2020, pp.48

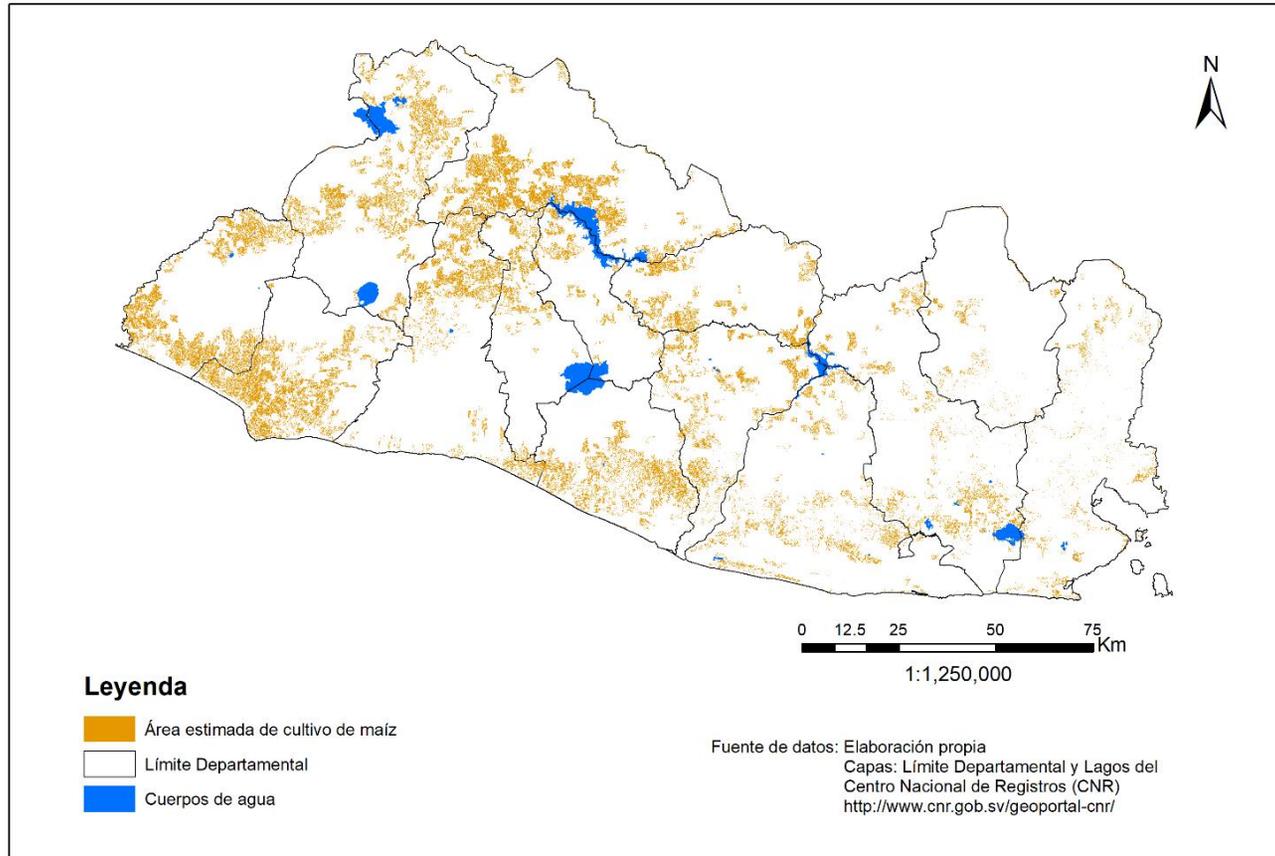
Figura 18. Mapa nacional, área estimada cultivo de maíz, 2014



Fuente: Tomado de Rivas et al. 2020, pp.49

Figura 19. Mapa nacional, área estimada cultivo de arroz, 2014

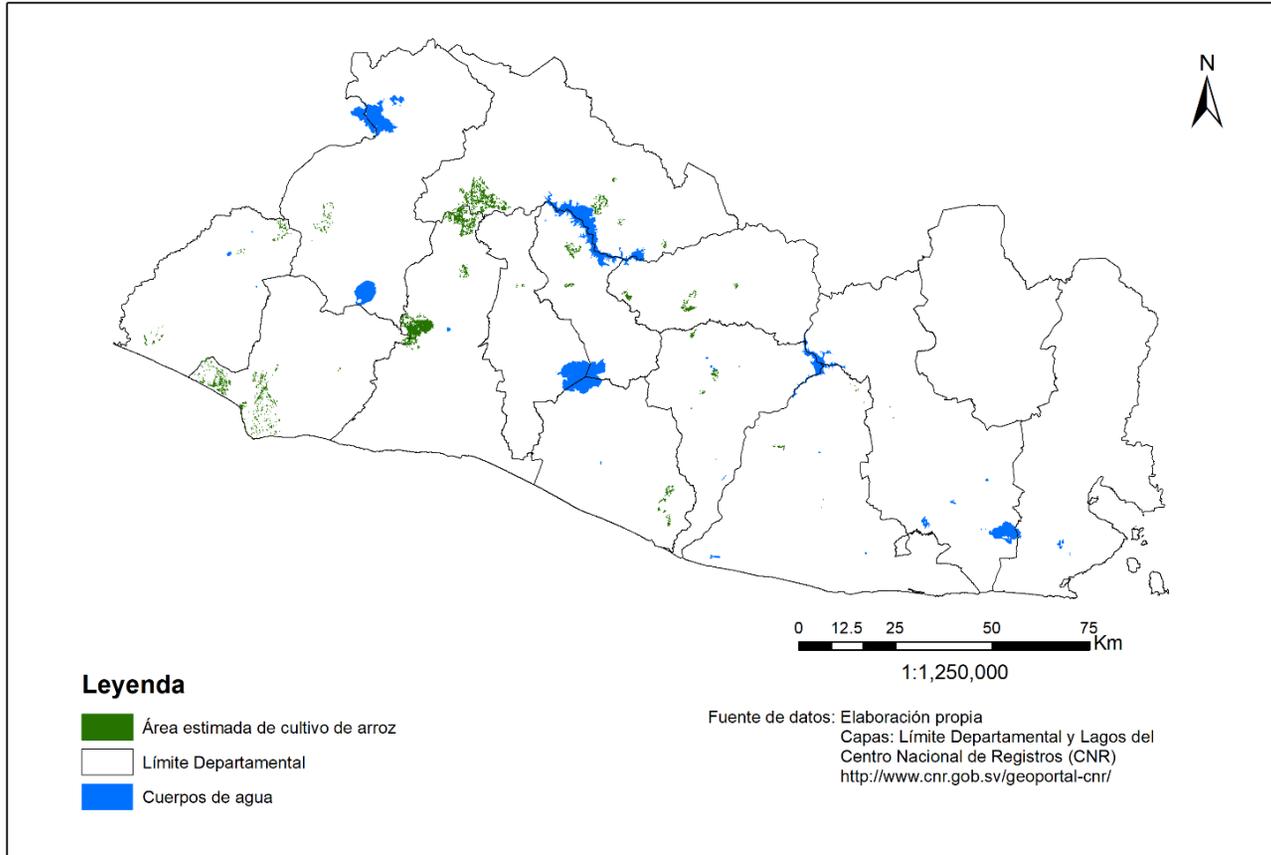
Área estimada cultivo de maíz
El Salvador
Año 2015



Fuente: Tomado de Rivas et al. 2020, pp.66

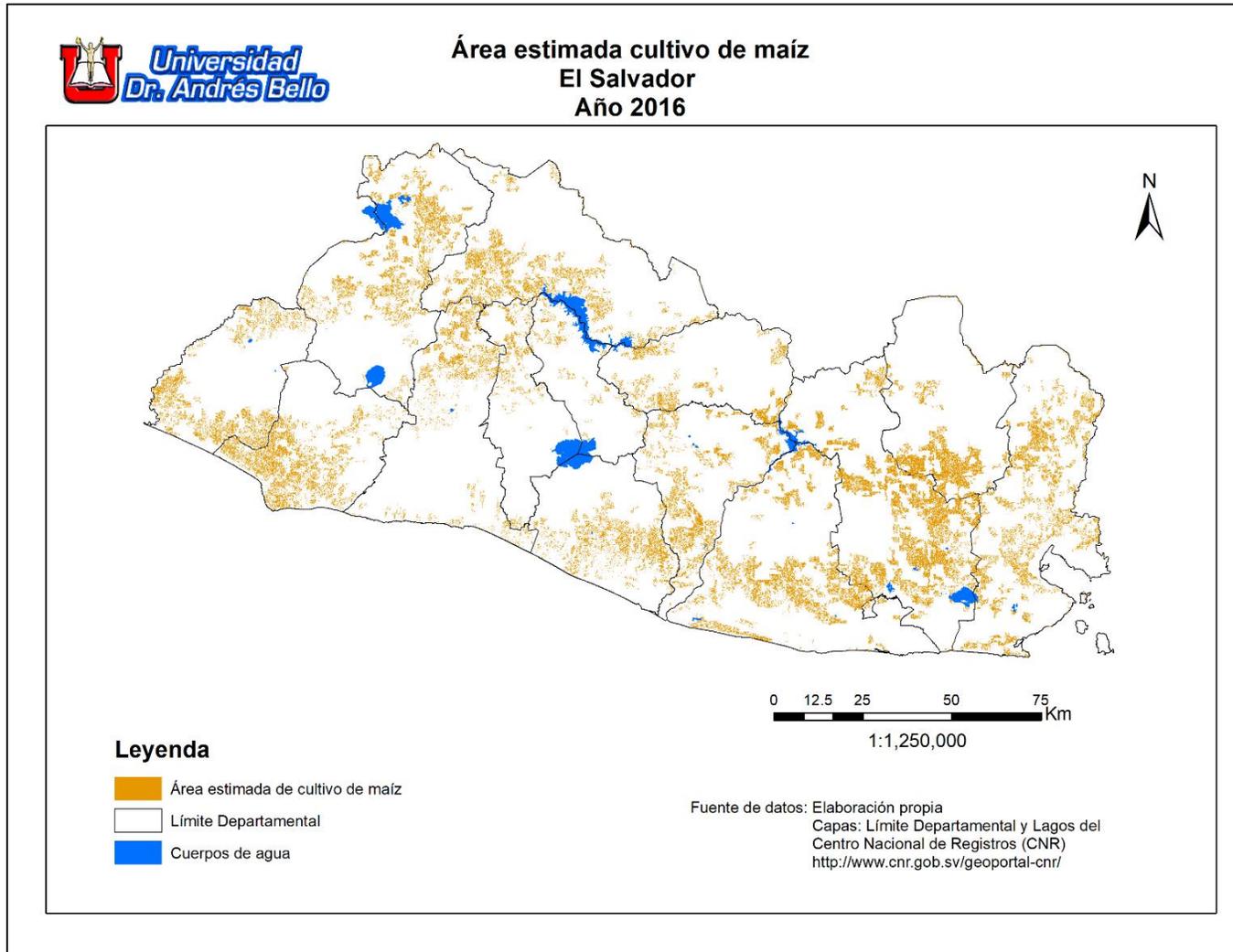
Figura 20. Mapa nacional, área estimada cultivo de maíz, 2015

Área estimada cultivo de arroz
El Salvador
Año 2015



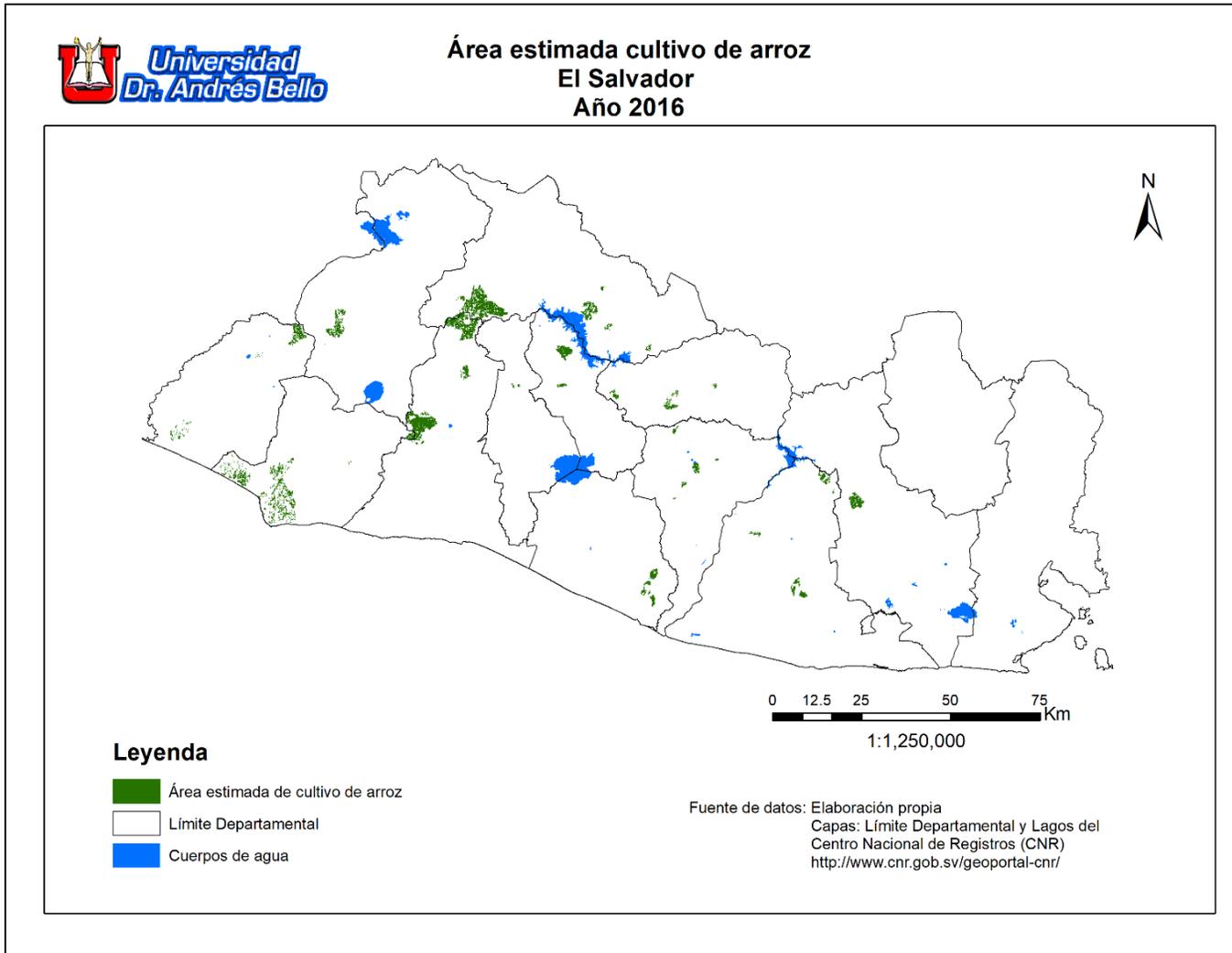
Fuente: Tomado de Rivas et al. 2020, pp.67

Figura 21. Mapa nacional, área estimada cultivo de arroz, 2015



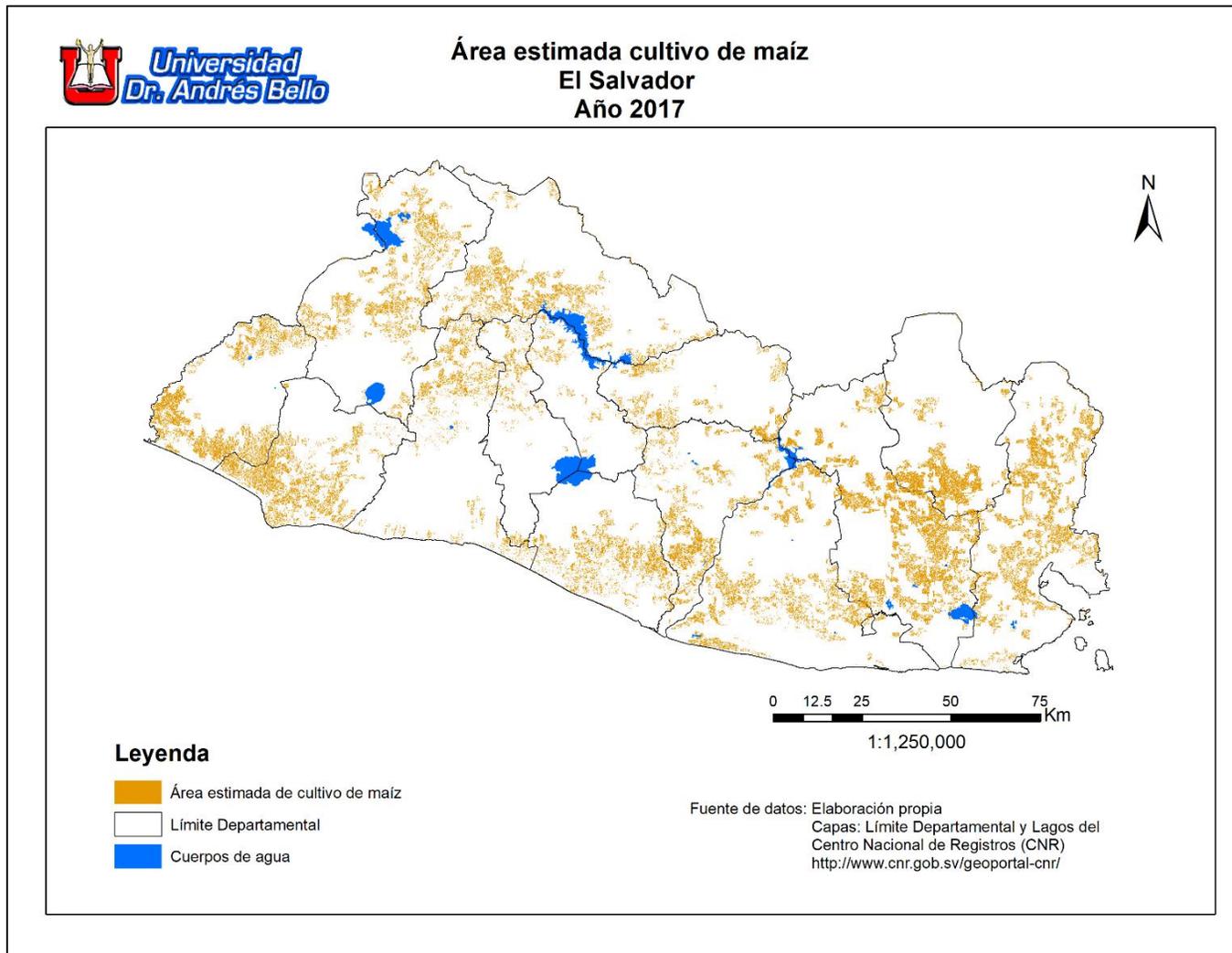
Fuente: Tomado de Rivas et al. 2020, pp.84

Figura 22. Mapa nacional, área estimada cultivo de maíz, 2016



Fuente: Tomado de Rivas et al. 2020, pp.85

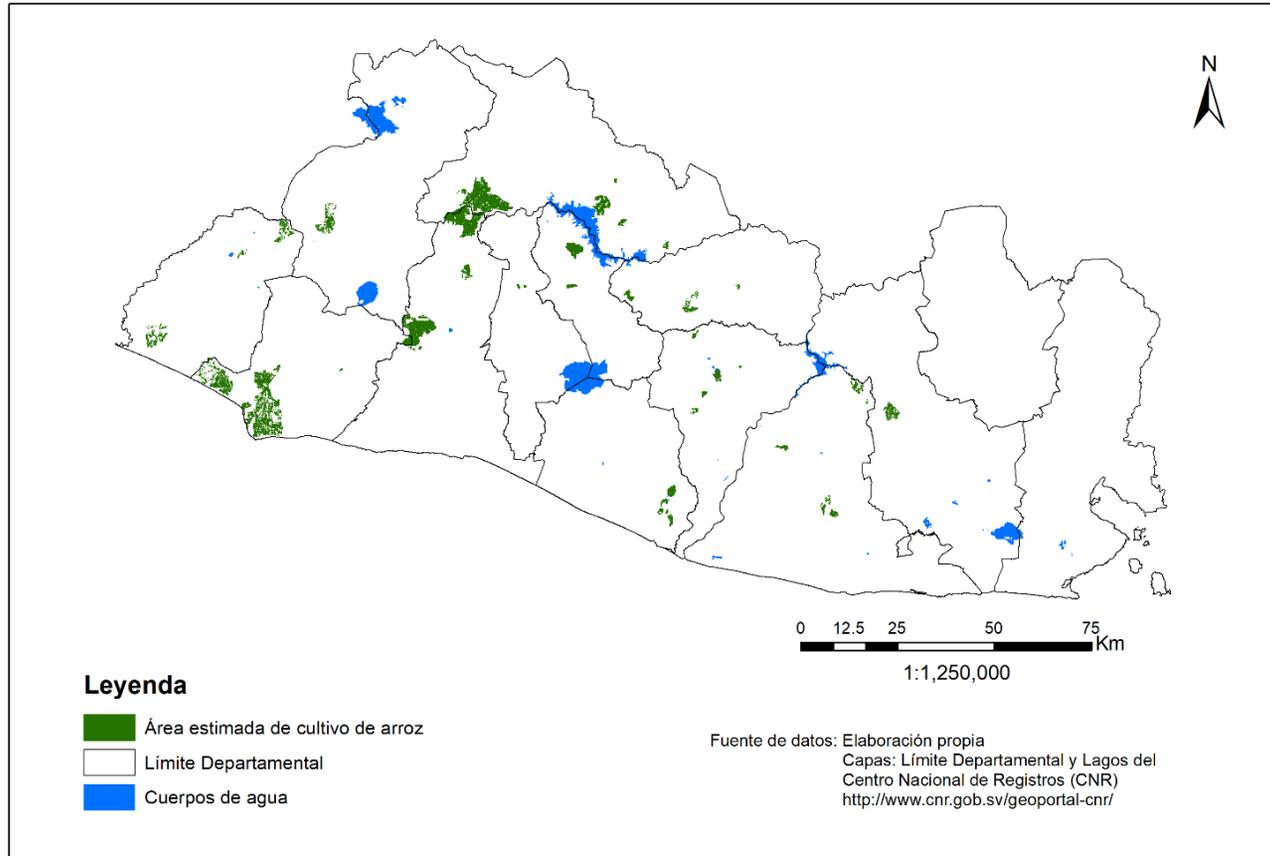
Figura 23. Mapa nacional, área estimada cultivo de arroz, 2016



Fuente: Tomado de Rivas et al. 2020, pp.102

Figura 24. Mapa nacional, área estimada cultivo de maíz, 2017

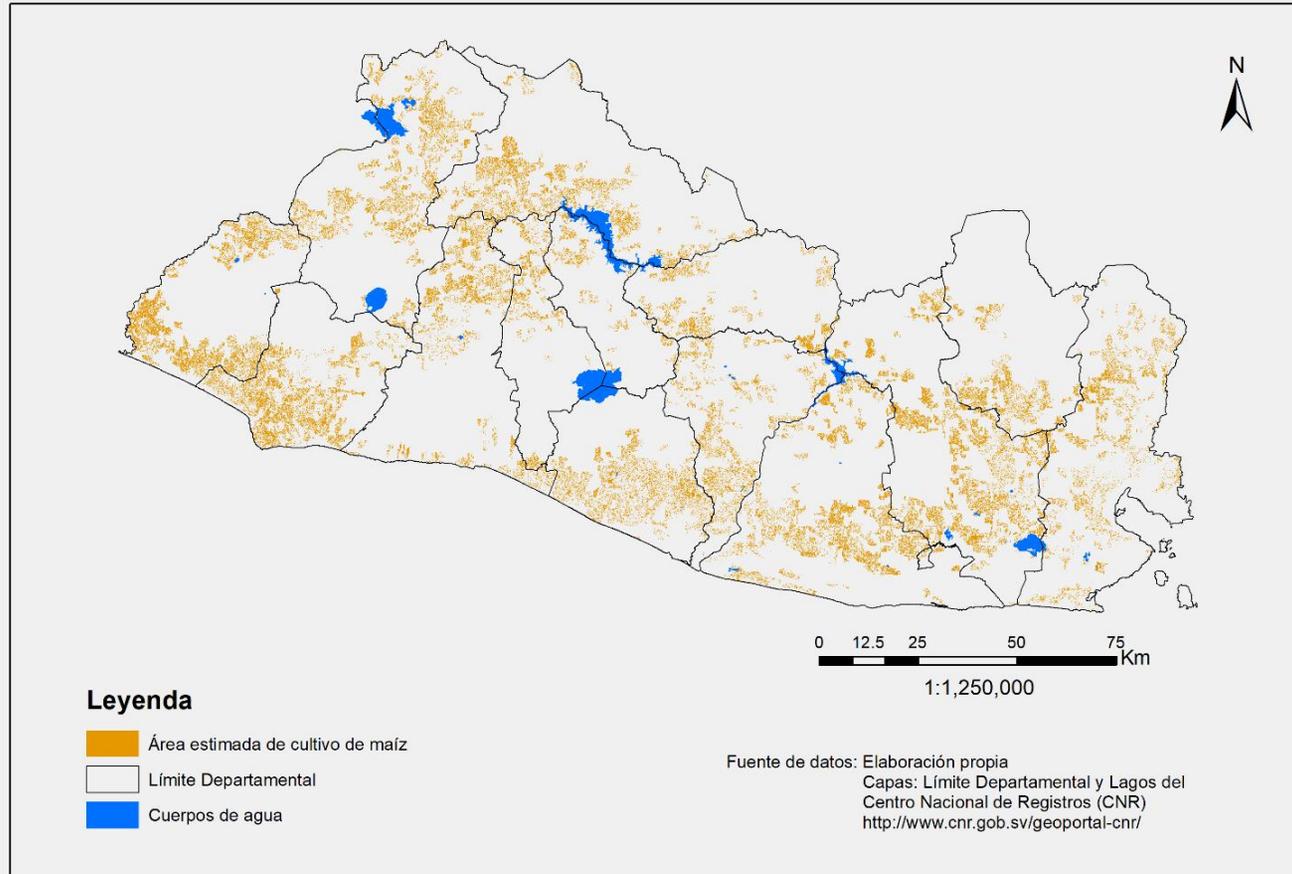
Área estimada cultivo de arroz
El Salvador
Año 2017



Fuente: Tomado de Rivas et al. 2020, pp.103

Figura 25. Mapa nacional, área estimada cultivo de arroz, 2017

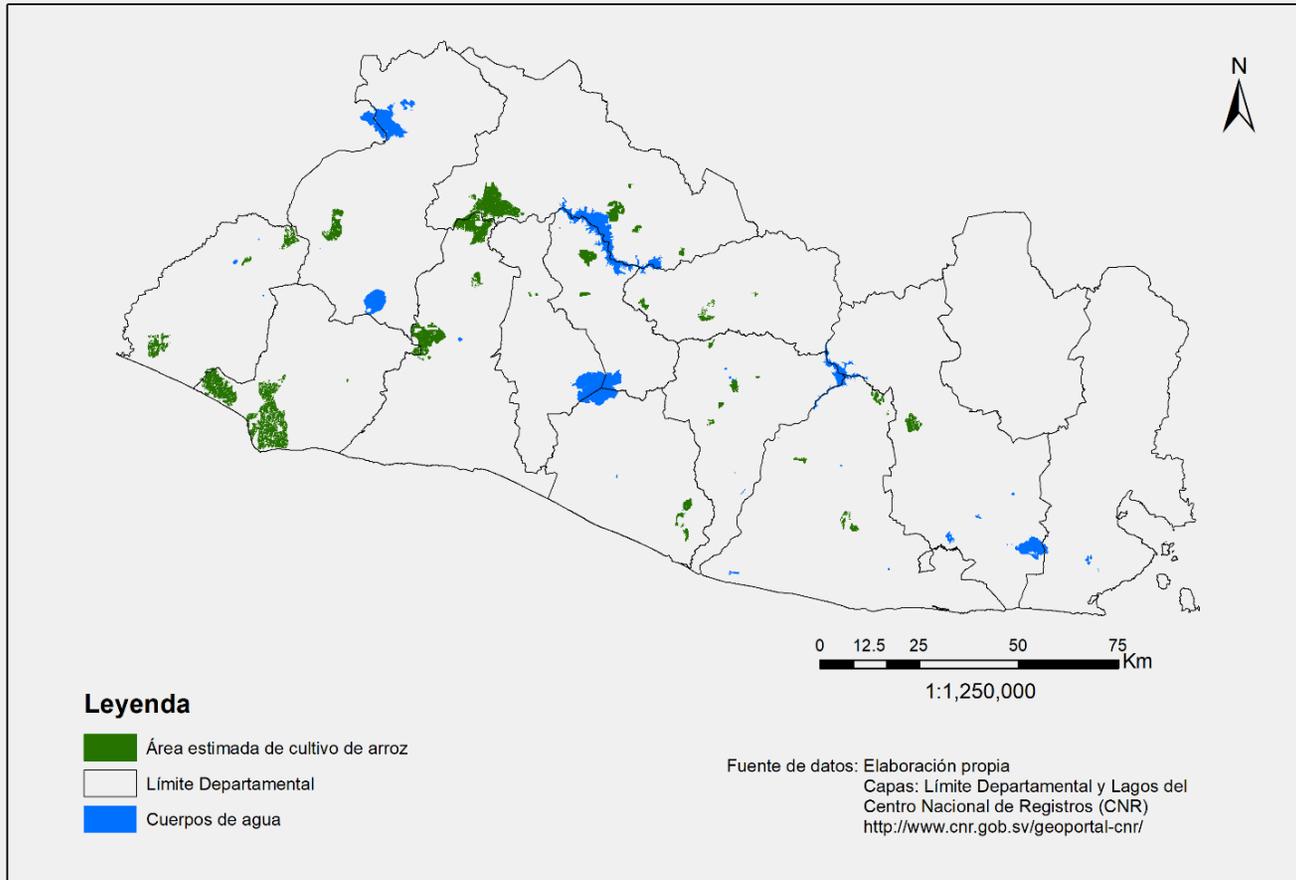
Área estimada cultivo de maíz
El Salvador
Año 2018



Fuente: Tomado de Rivas et al. 2020, pp.120

Figura 26. Mapa nacional, área estimada cultivo de maíz, 2018

**Área estimada cultivo de arroz
El Salvador
Año 2018**



Fuente: Tomado de Rivas et al. 2020, pp.121

Figura 27. Mapa nacional, área estimada cultivo de arroz, 2018

2.3.2 Información sobre cultivos, rendimiento y precios

Esta información está compuesta por generalidades de clasificación taxonómica, morfología, etapas fenológicas, requerimientos edafoclimáticos, potencial de rendimiento y precio anual promedio a nivel mayorista y consumidor.

2.3.3 Base de datos de temperatura, humedad relativa y precipitación del Observatorio Ambiental, periodo 2013-2018.

La base de datos fue solicitada al Observatorio Ambiental del MARN, y posteriormente proporcionada por dicha institución. El conjunto de datos recibido estaba compuesto por 25 estaciones meteorológicas para el periodo de estudio; de las cuales, por motivos de suficiencia de datos, se retiraron del registro tres estaciones; logrando realizar el análisis estadístico con 22 estaciones que presentaban datos completos en el periodo de tiempo referido.

2.4 Tratamiento de la información

2.4.1 Base de datos de temperatura, humedad relativa y precipitación

2.4.1.1 Revisión y depuración de base de datos

La base de datos compartida por el MARN estaba compuesta por registros de 25 estaciones meteorológicas en el periodo de estudio 2013 a 2018, de las cuales se eliminaron 3, pues dichas estaciones no presentaban registros en los meses de marzo a diciembre 2013, enero a diciembre 2014, enero a octubre 2015 y marzo 2017; por lo cual, la base de datos depurada quedó conformada por 22 estaciones meteorológicas.

2.4.1.2 Cálculo de valores anuales de parámetros ambientales

Ya que los valores de los datos de las 22 estaciones meteorológicas eran mensuales, fue necesario calcular un promedio anual tanto de temperatura como para humedad relativa, y finalmente el cálculo de precipitación acumulada de forma anual, conformando con los datos anteriores, tablas anuales.

2.4.1.3 Georreferenciación de estaciones meteorológicas en capa vectorial

Dado que cada estación meteorológica poseía en registro sus coordenadas geográficas, se realizó la georreferenciación de dichas estaciones en Arcmap, mediante un procedimiento denominado “agregar coordenadas xy” definiendo el Sistema de Referencia de Coordenadas (SRC) y el formato de coordenadas (en este caso decimal), con el cual se logró ubicar en una capa vectorial de puntos, las estaciones incluidas en la investigación.

2.4.1.4 Interpolación de datos

La interpolación de datos se realizó utilizando la herramienta de análisis espacial de Arcmap denominada “IDW”, con la cual se obtuvieron capas ráster de todos los parámetros ambientales, mediante el uso de la capa vectorial de las estaciones meteorológicas, y teniendo como área de delimitación la capa vectorial de polígono del límite departamental del CNR. Básicamente la interpolación fue útil para obtener los valores máximos, mínimos, promedios de precipitación, temperatura y humedad relativa a nivel nacional, para cada año del periodo de estudio.

2.4.1.5 Procesamiento estadístico

Para conformar la base de datos, se elaboró una capa vectorial de puntos, con la que se capturaron los valores de las capas raster obtenidas de la interpolación hecha para los parámetros ambientales. La captura de valores también se realizó en las capas de áreas estimadas de cultivos, obtenidas por Rivas et al. (2020).

Posteriormente se ejecutó un análisis de correlación bivariada, donde se identificaron coeficientes de correlación entre las variables ya mencionadas anteriormente, además de conocer que tan significativo (en niveles 0.05 y 0.01) era cada coeficiente. Por otra parte, se construyeron modelos de regresión lineal múltiple para cada cultivo por año, donde en todos los casos la variable dependiente fue el área estimada según correspondiera, y como variables independientes, los parámetros ambientales; identificando el porcentaje de variación del área estimada de cada cultivo por año que puede ser explicada a partir de cada modelo de regresión, según el coeficiente de determinación ajustado obtenido.

2.4.2 Áreas estimadas de cultivos maíz y arroz

Las capas vectoriales de áreas estimadas de maíz y arroz para el periodo de estudio, fueron utilizadas específicamente para extraer los valores del área de polígonos obtenida en cada año para cada cultivo respectivamente. Como ya se mencionó anteriormente, una capa vectorial de polígonos contiene entidades geométricas de diferentes formas, sobre todo irregulares. En este sentido, del atributo “área” de la tabla de registro asociada a cada cultivo, se obtuvo el valor del área de cada polígono.

Posteriormente, se realizó un vaciado de datos del área nacional obtenida para cada cultivo, por año. Al mismo tiempo se registraron los promedios anuales de temperatura y humedad relativa y el acumulado anual de precipitación (según los valores obtenidos en los mapas realizados mediante el método geoestadístico “IDW”), para tener clara la variación del área de cada cultivo y el comportamiento de los parámetros ambientales incluidos en la investigación.

2.4.3 Rendimiento potencial y precio promedio anual

Teniendo en cuenta el rendimiento potencial de las 6 variedades de maíz, se calculó un rendimiento promedio de 80.83 qq/mz (quintales por manzana) tomando como referencia el rendimiento mínimo de cada variedad, siendo útil para estimar la producción de este cultivo en cada año, según el área nacional obtenida de la capa vectorial de polígonos. En el caso de ambos cultivos se optó por realizar una conversión del rendimiento (con un factor de conversión de 1.43082805) para obtener quintales por hectárea (qq/Ha), ya que la unidad de área de las capas vectoriales de ambos cultivos se encontraba expresada en hectáreas. Por tanto, aplicando dicha conversión el rendimiento promedio del maíz fue de 115.65 qq/Ha. De igual forma en el caso del arroz, se incluyeron las 6 variedades de dicho cultivo con su respectivo rendimiento, a partir del cual se calculó un rendimiento promedio de 178.92 qq/mz, equivalente a 256.00 qq/Ha.

Los precios promedio a nivel mayorista de ambos cultivos, fueron tomados de los anuarios de estadísticas agropecuaria de la DGEA del MAG.

3. RESULTADOS

3.1 Nacional

En este apartado de resultados nacionales, se presentan los mapas de precipitación, temperatura y humedad relativa. En el caso de los valores de lluvia, los más bajos son representados con color rojo, y los valores altos, con color verde. La simbología de los mapas de temperatura y humedad relativa es la siguiente: valores bajos (color verde) y valores altos (color rojo).

Para obtener los valores máximos, mínimos y promedios de los tres parámetros ambientales incluidos en esta investigación, se utilizó el método de interpolación denominado IDW (distancia inversa ponderada), donde se tuvieron como base los registros de cada año, proporcionados por el MARN.

Luego de los mapas, se presenta el análisis de correlación entre las áreas estimadas de cada cultivo, y los parámetros ambientales. Es importante mencionar que para realizar este análisis fue necesario realizar la extracción de: valores de las capas ráster obtenidas de la interpolación y de los valores de las capas vectoriales de áreas estimadas obtenidas en el proyecto de tecnología 2019 de la Universidad Dr. Andrés Bello. Tal como podrá comprobarse, los valores de las correlaciones para cada cultivo; incluso en el mismo año, son diferentes entre los parámetros ambientales; y esto se debe a que la extracción de valores se realizó con capas vectoriales densas de puntos, las cuales abarcaron exactamente las áreas estimadas de los cultivos para cada año, ya que dichas áreas son diferentes.

Posteriormente se presentan los modelos de regresión lineal múltiple, que permiten conocer en qué medida los parámetros ambientales pueden explicar la fluctuación de las áreas estimadas de cada cultivo, para cada año.

También se incluyen tablas y gráficos que contienen la variación de las áreas de cada cultivo, los precios, y parámetros ambientales.

Finalmente, se presenta la estimación económica de la producción por cada cultivo, identificando así, cómo los parámetros ambientales han tenido un efecto positivo o negativo, lo cual incluye la disminución de la producción en quintales y el aumento de precios.

3.1.1 Mapas nacionales de precipitación

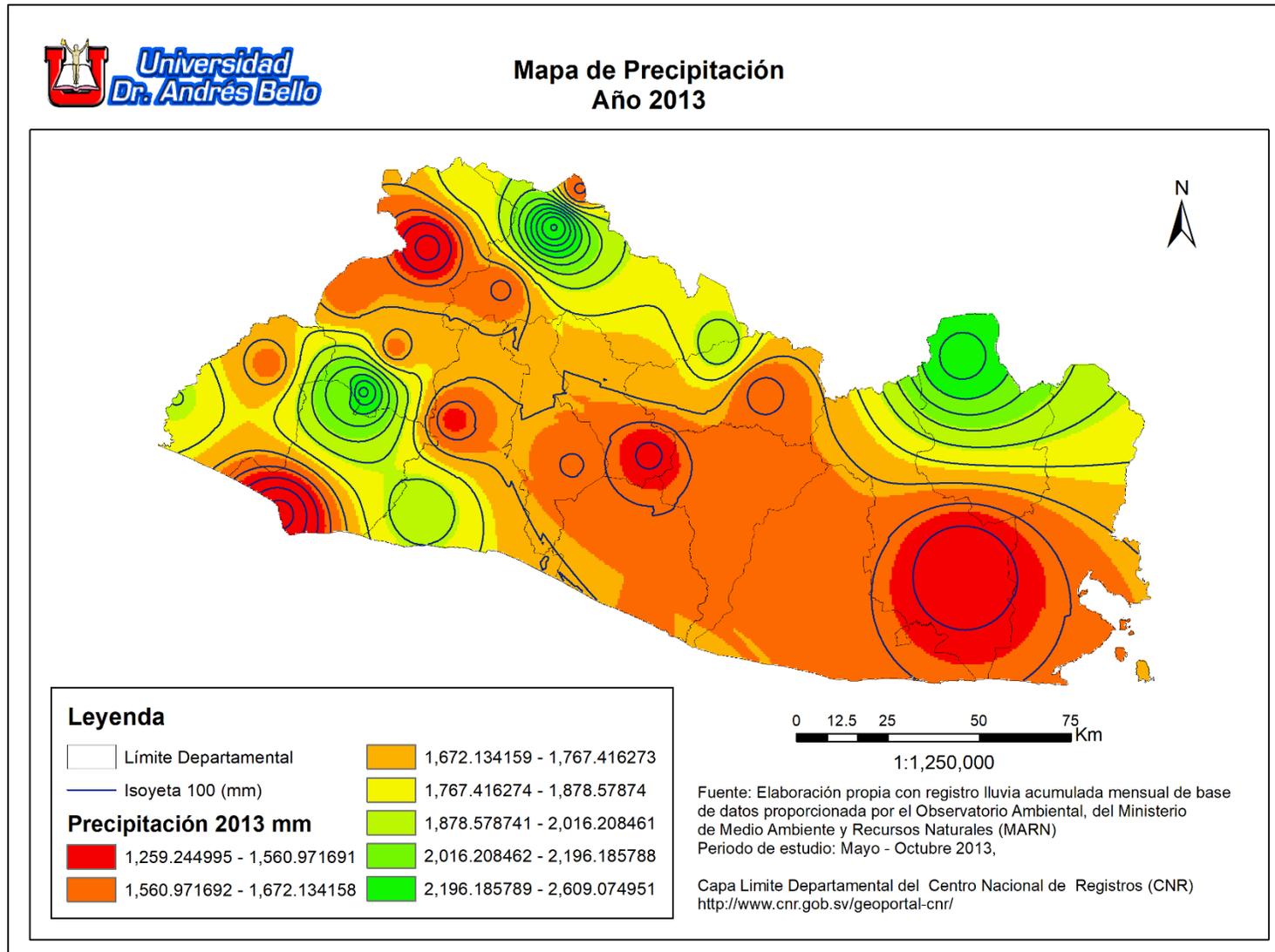


Figura 28. Mapa nacional de precipitación, 2013

**Mapa de Precipitación
Año 2014**

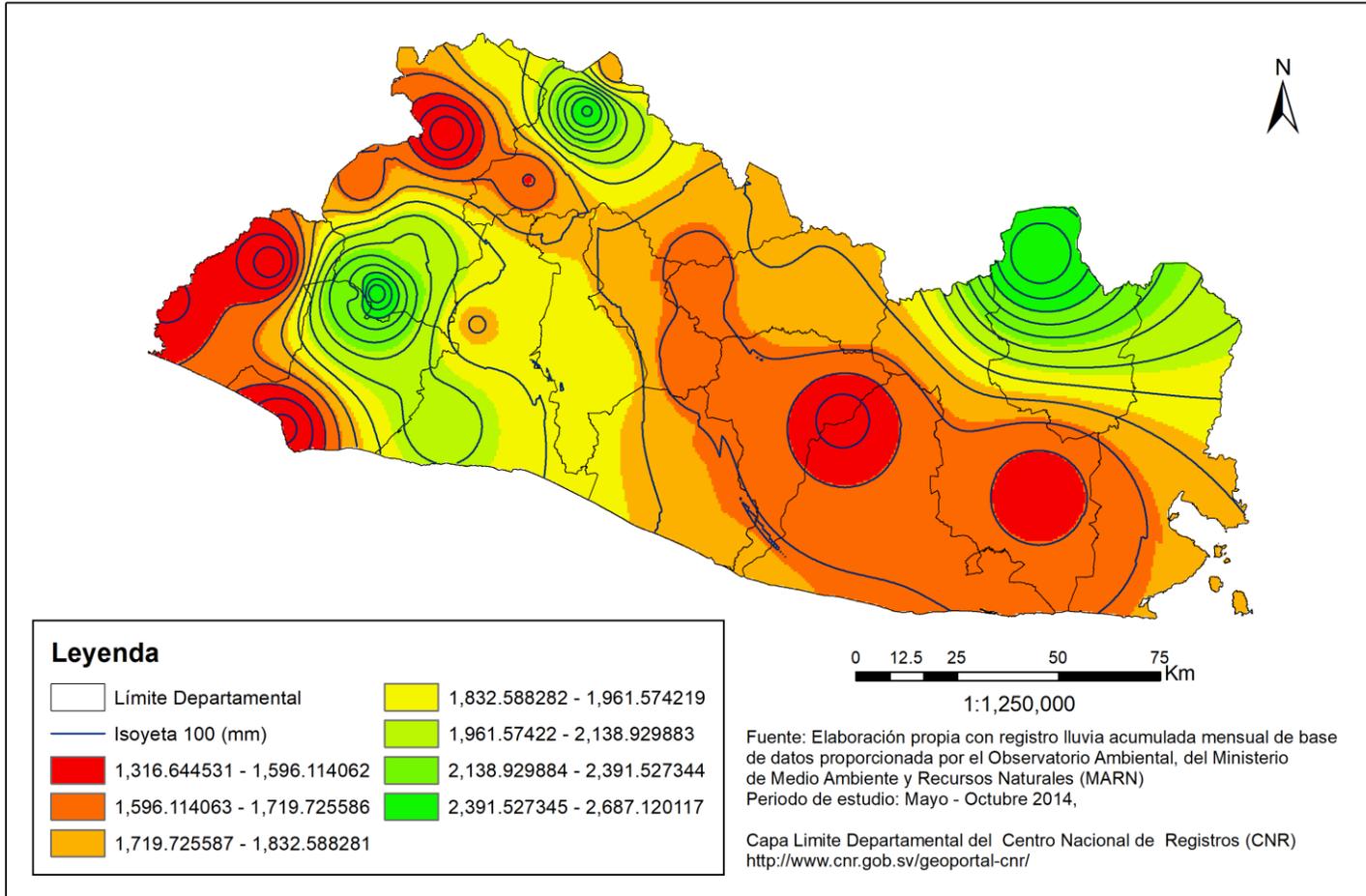


Figura 29. Mapa nacional de precipitación, 2014

**Mapa de Precipitación
Año 2015**

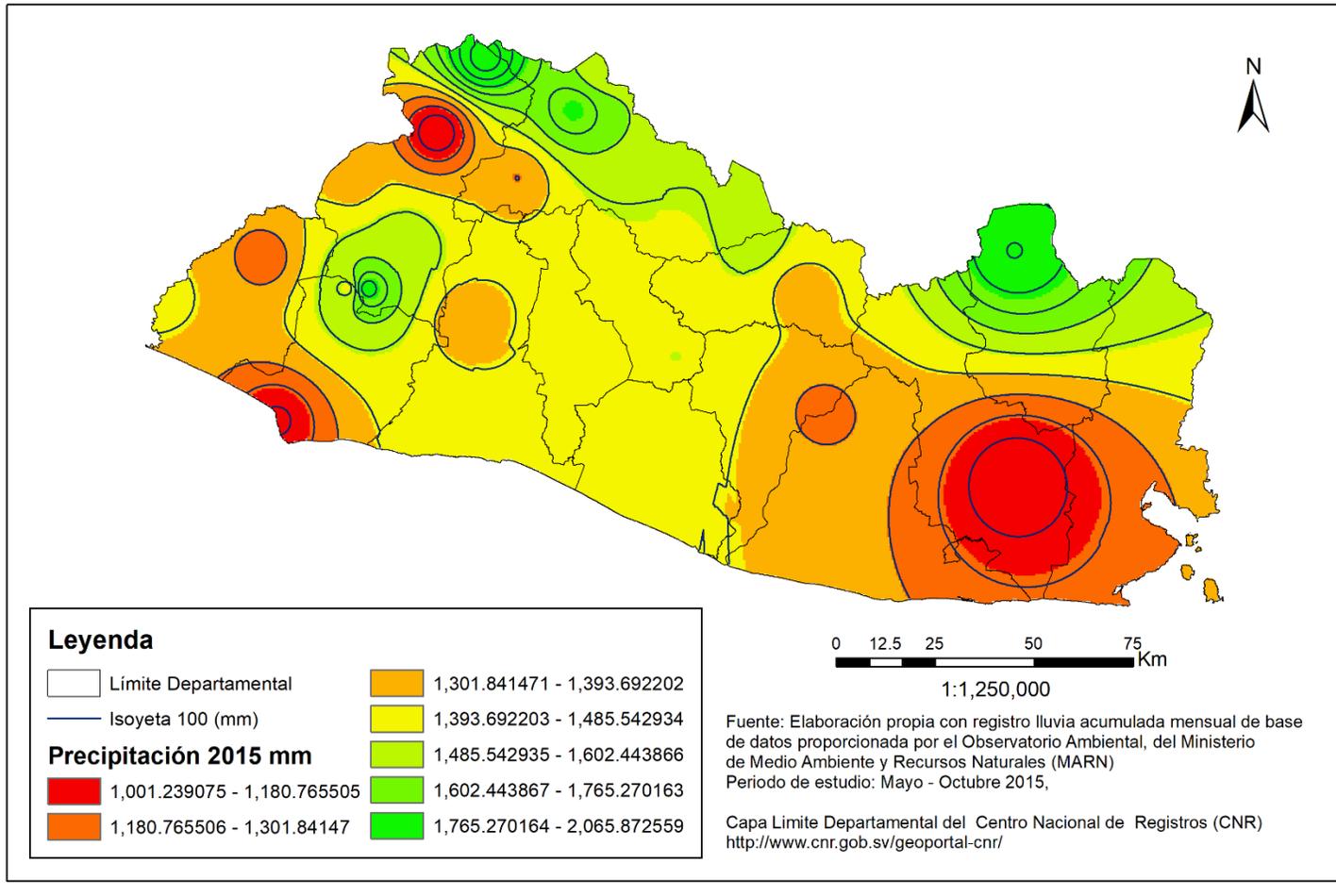


Figura 30. Mapa nacional de precipitación, 2015

**Mapa de Precipitación
Año 2016**

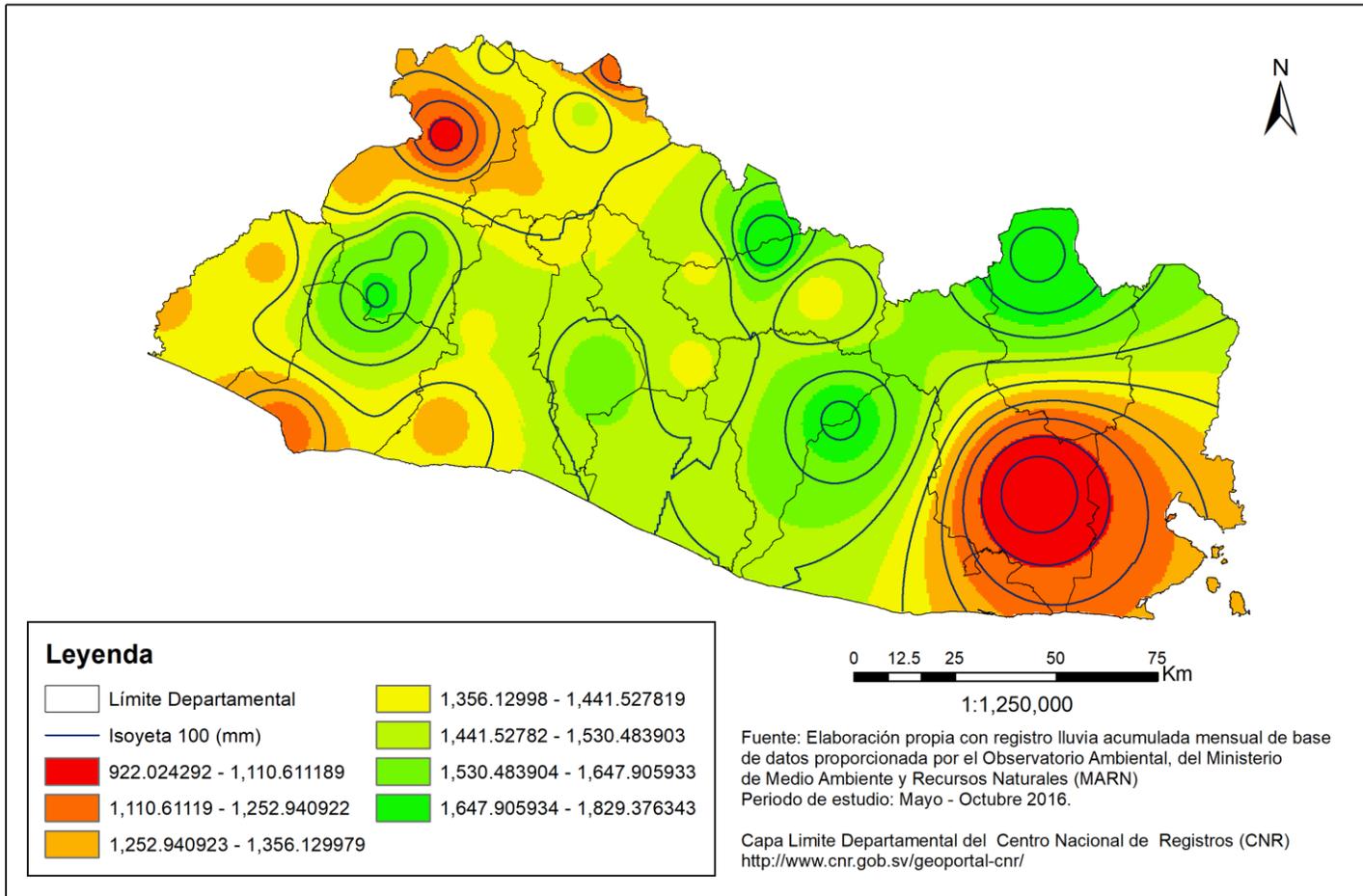


Figura 31. Mapa nacional de precipitación, 2016

**Mapa de Precipitación
Año 2017**

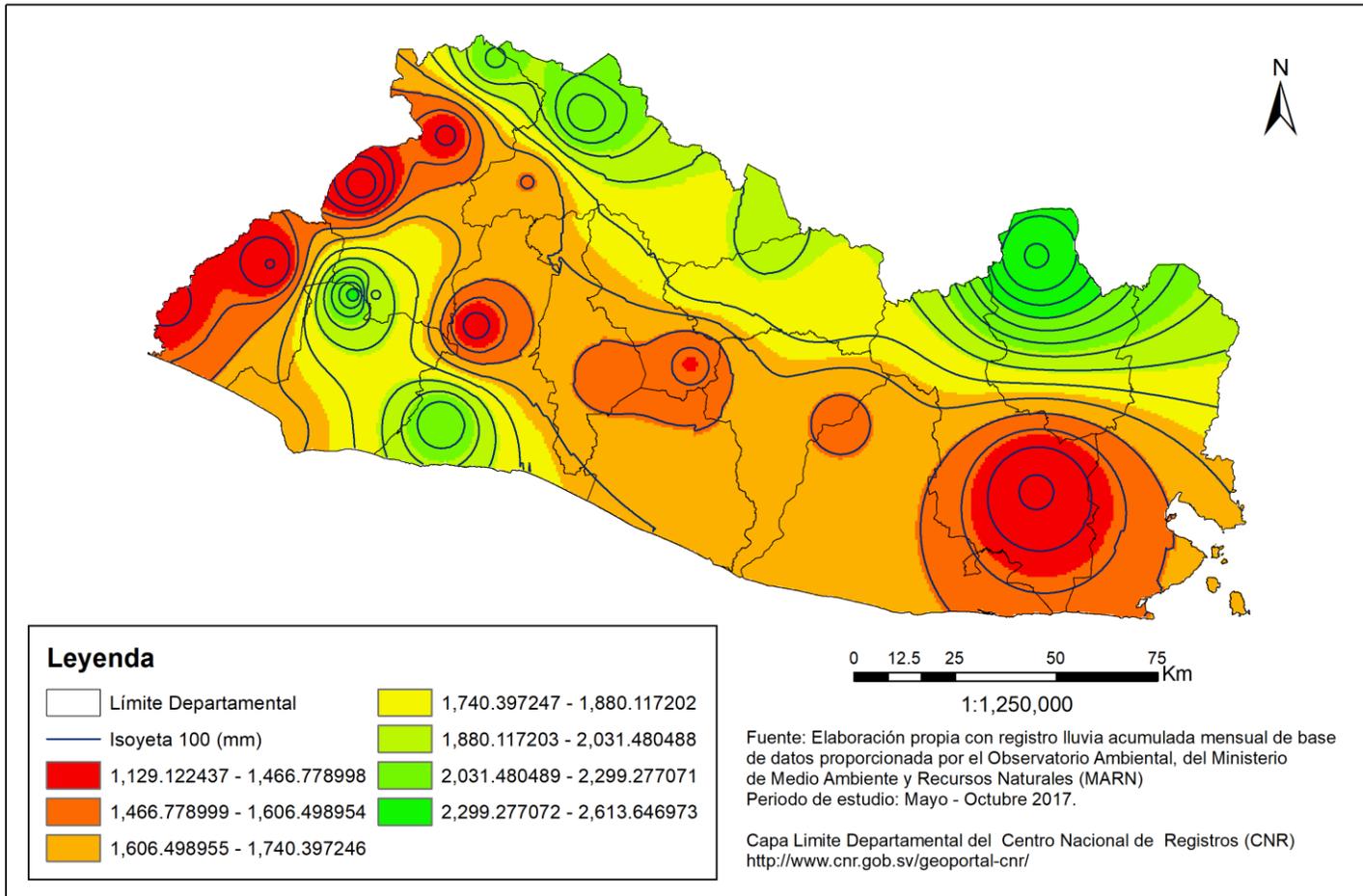


Figura 32. Mapa nacional de precipitación, 2017

**Mapa de Precipitación
Año 2018**

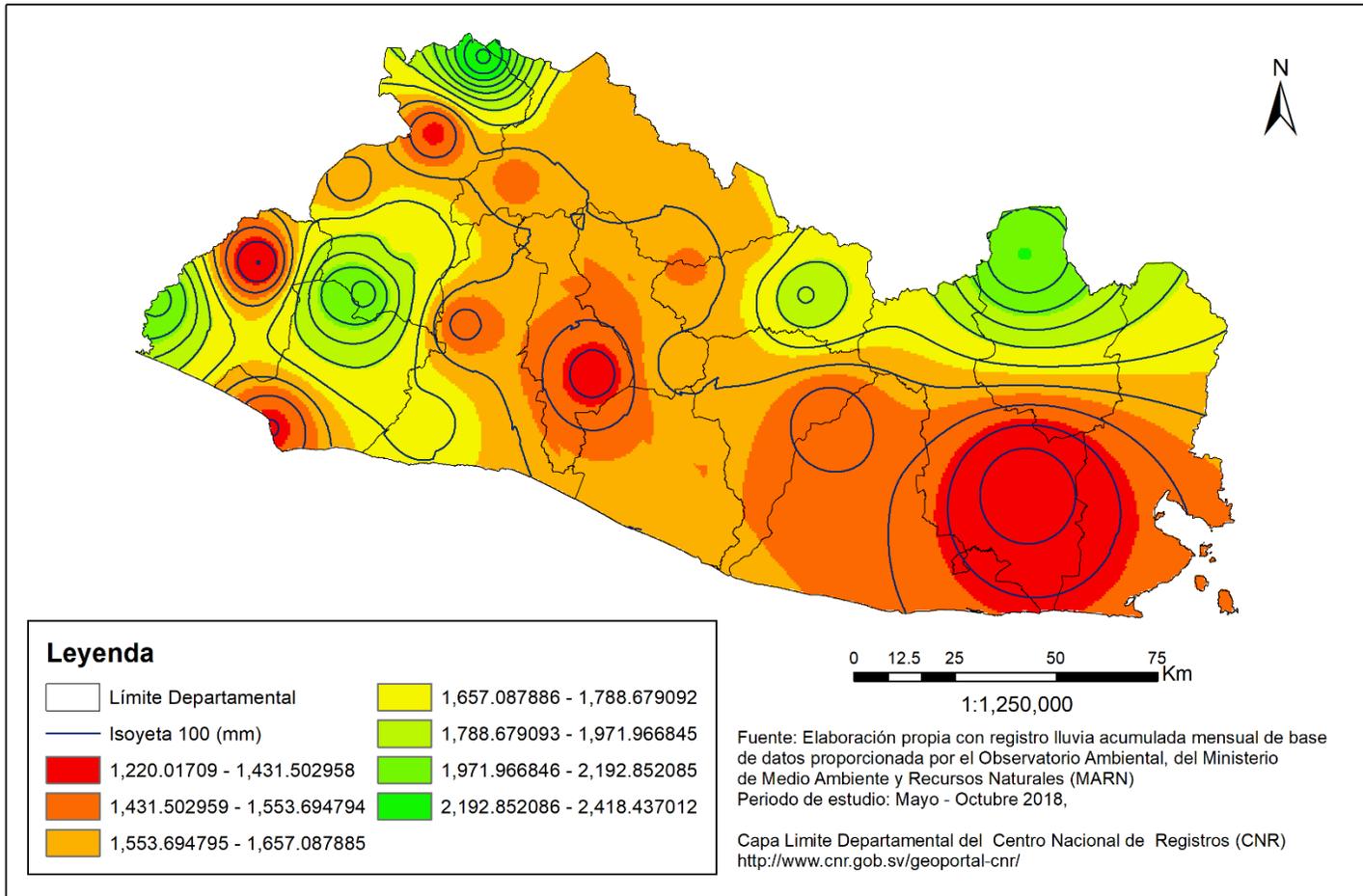


Figura 33. Mapa nacional de precipitación, 2018

3.1.2 Mapas nacionales de temperatura

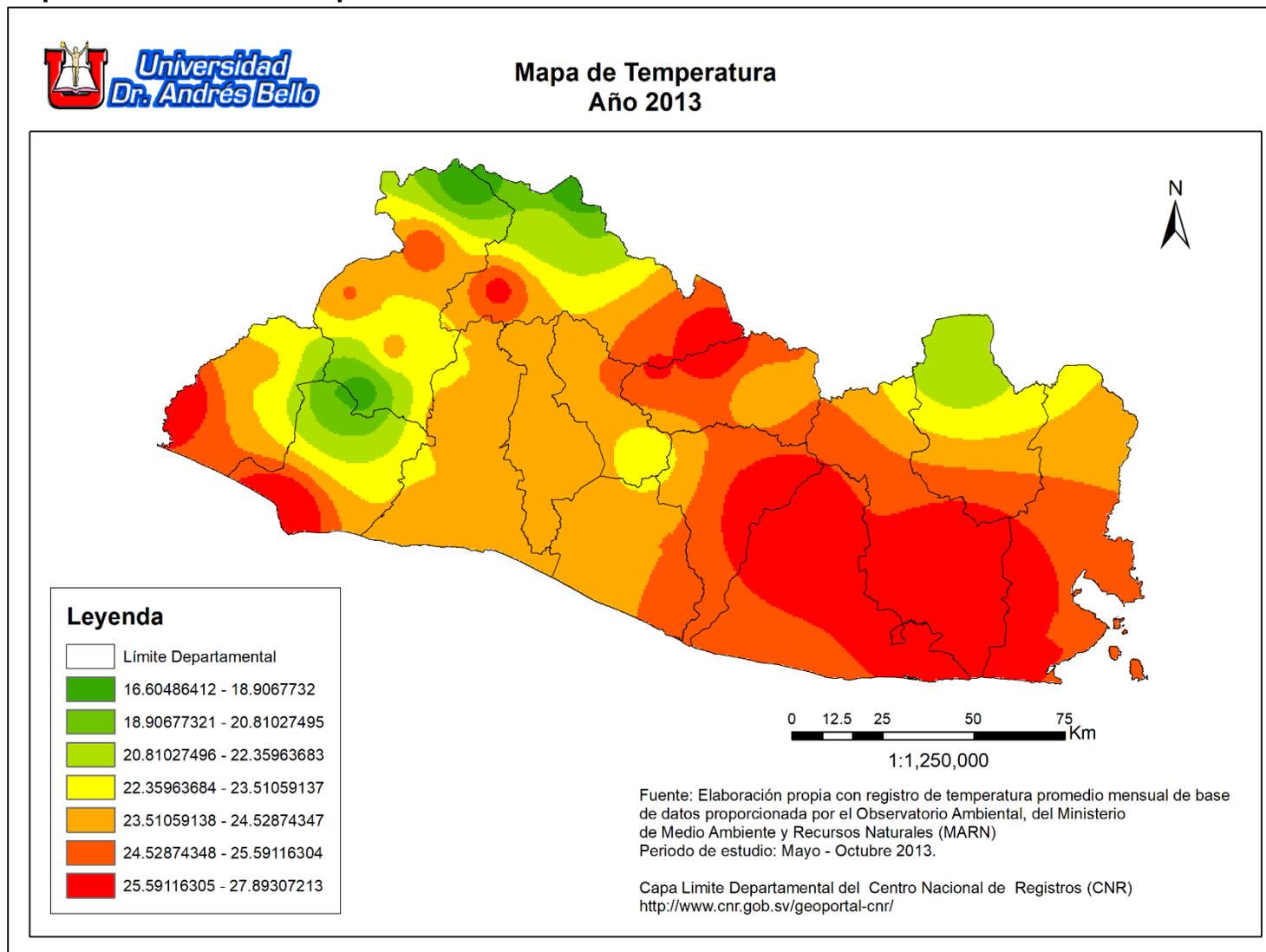


Figura 34. Mapa nacional de temperatura, 2013

Mapa de Temperatura Año 2014

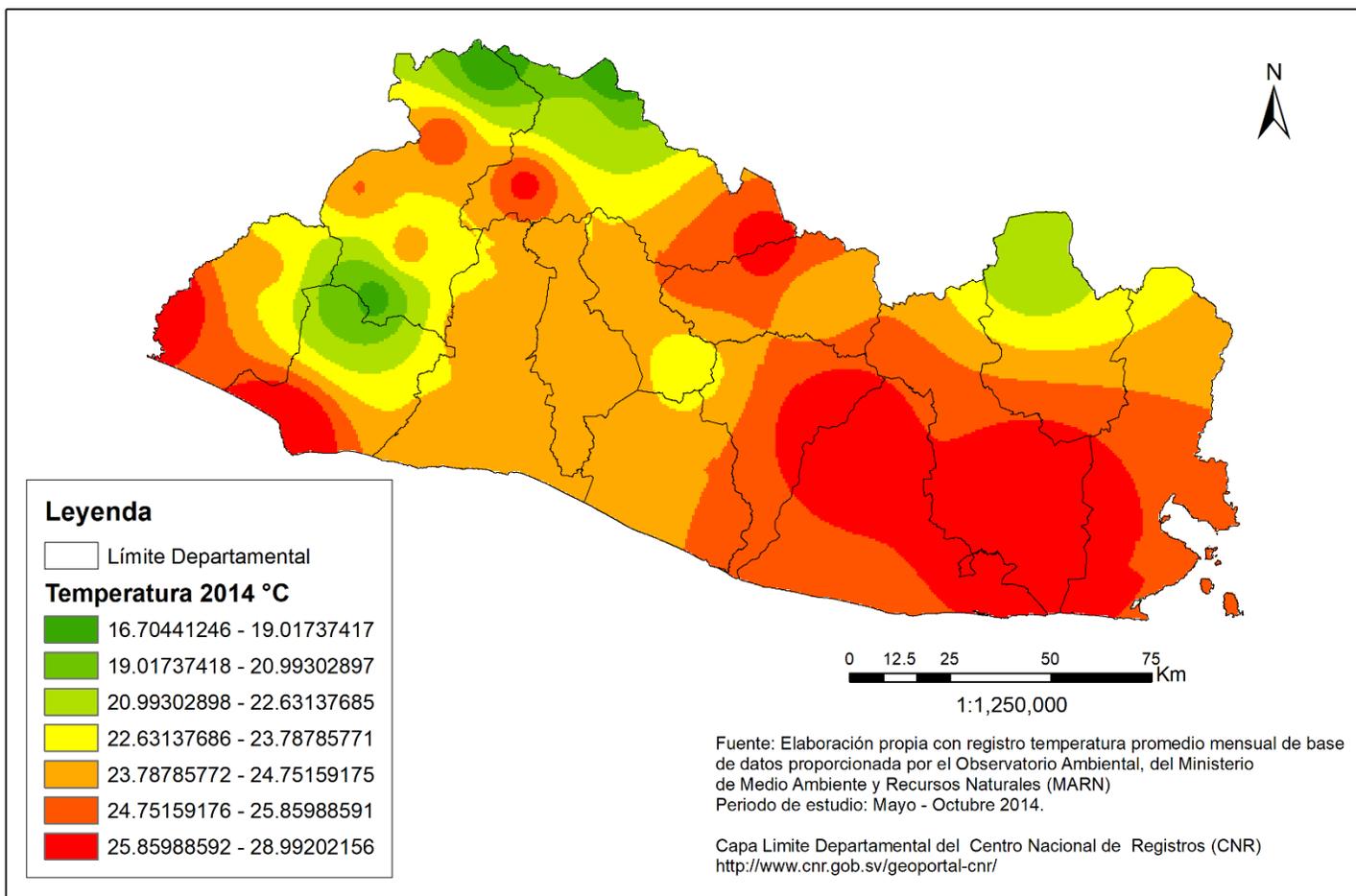


Figura 35. Mapa nacional de temperatura, 2014

**Mapa de Temperatura
Año 2015**

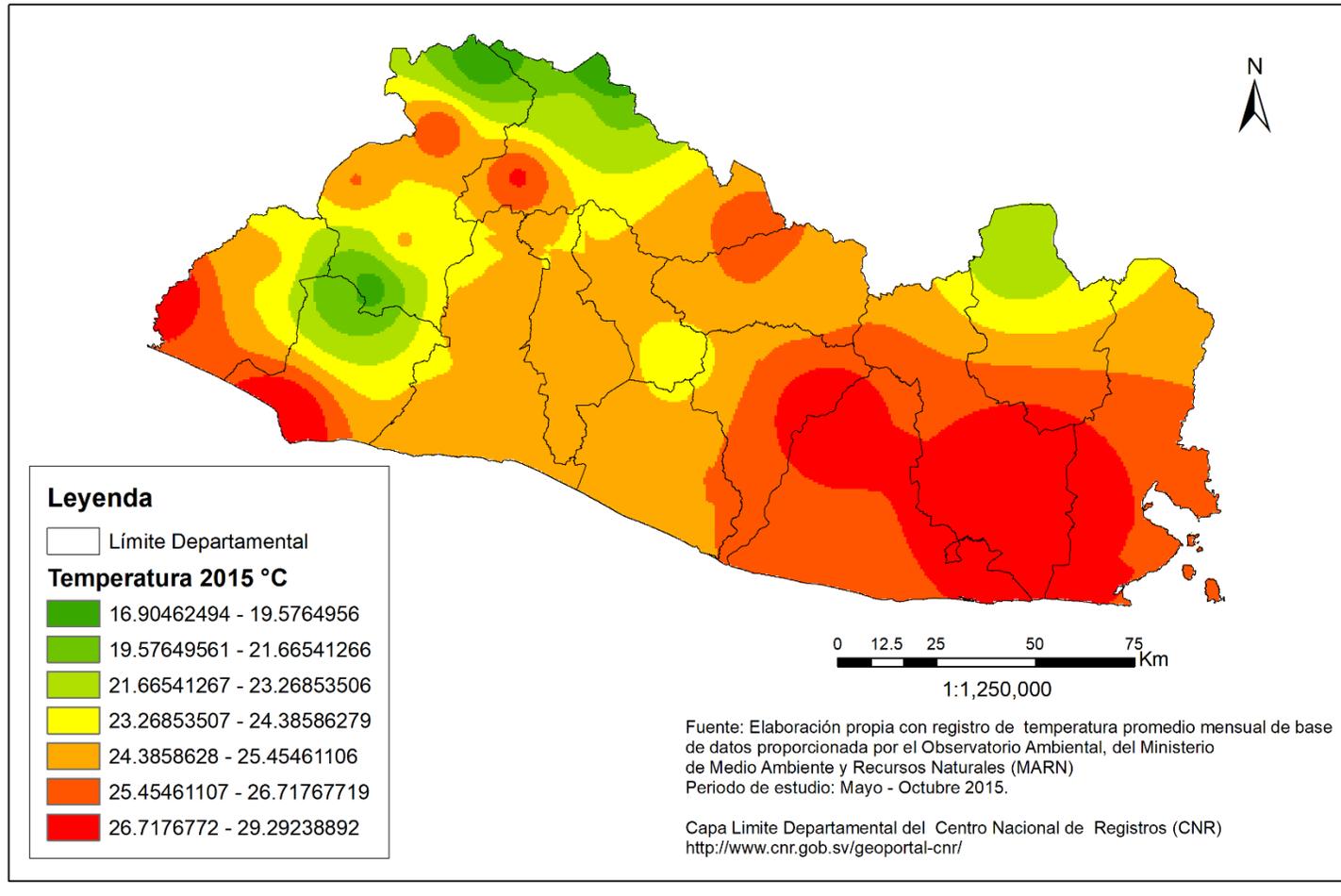


Figura 36. Mapa nacional de temperatura, 2015

**Mapa de Temperatura
Año 2016**

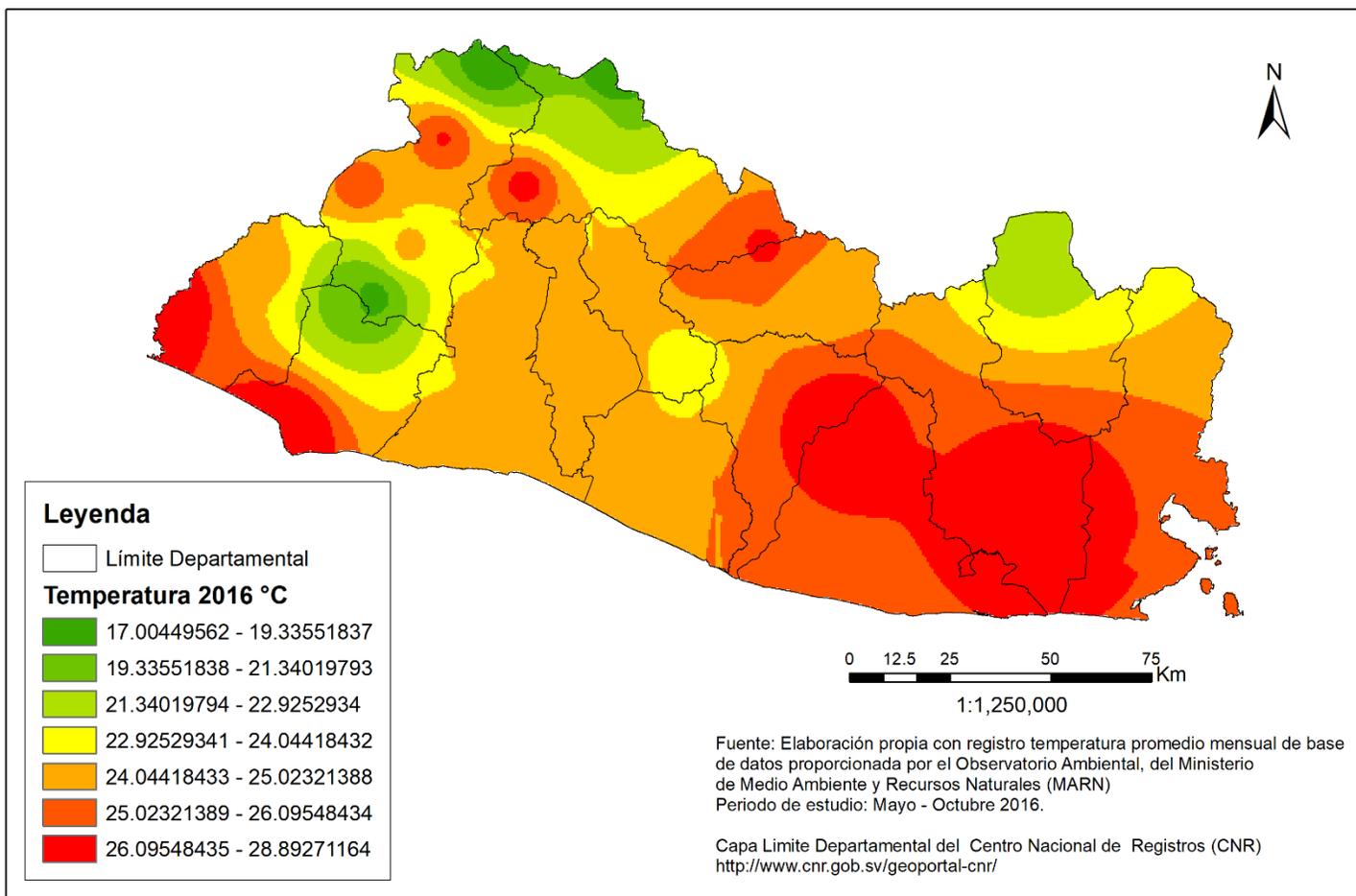


Figura 37. Mapa nacional de temperatura, 2016

Mapa de Temperatura Año 2017

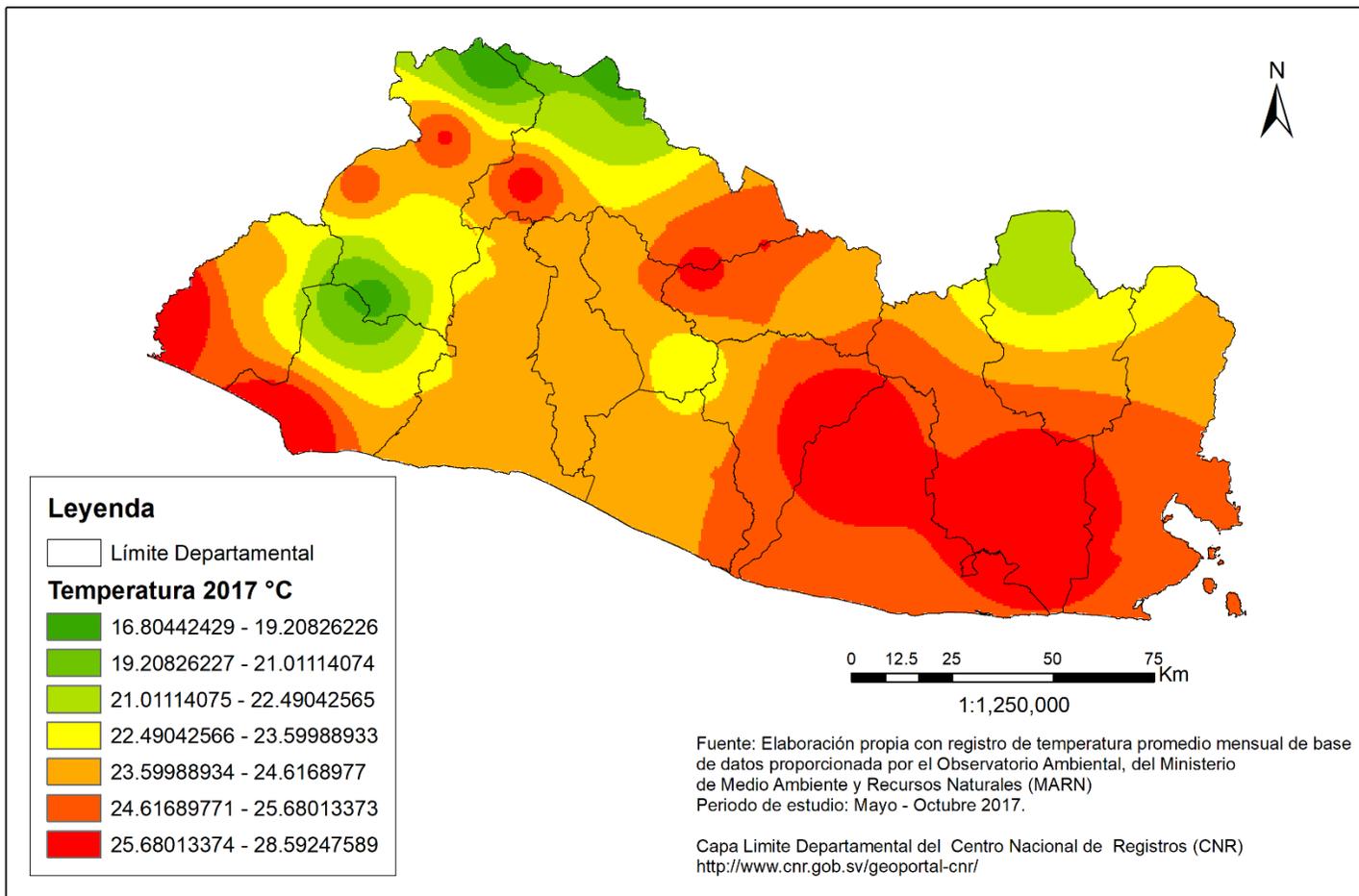


Figura 38. Mapa nacional de temperatura, 2017

**Mapa de Temperatura
Año 2018**

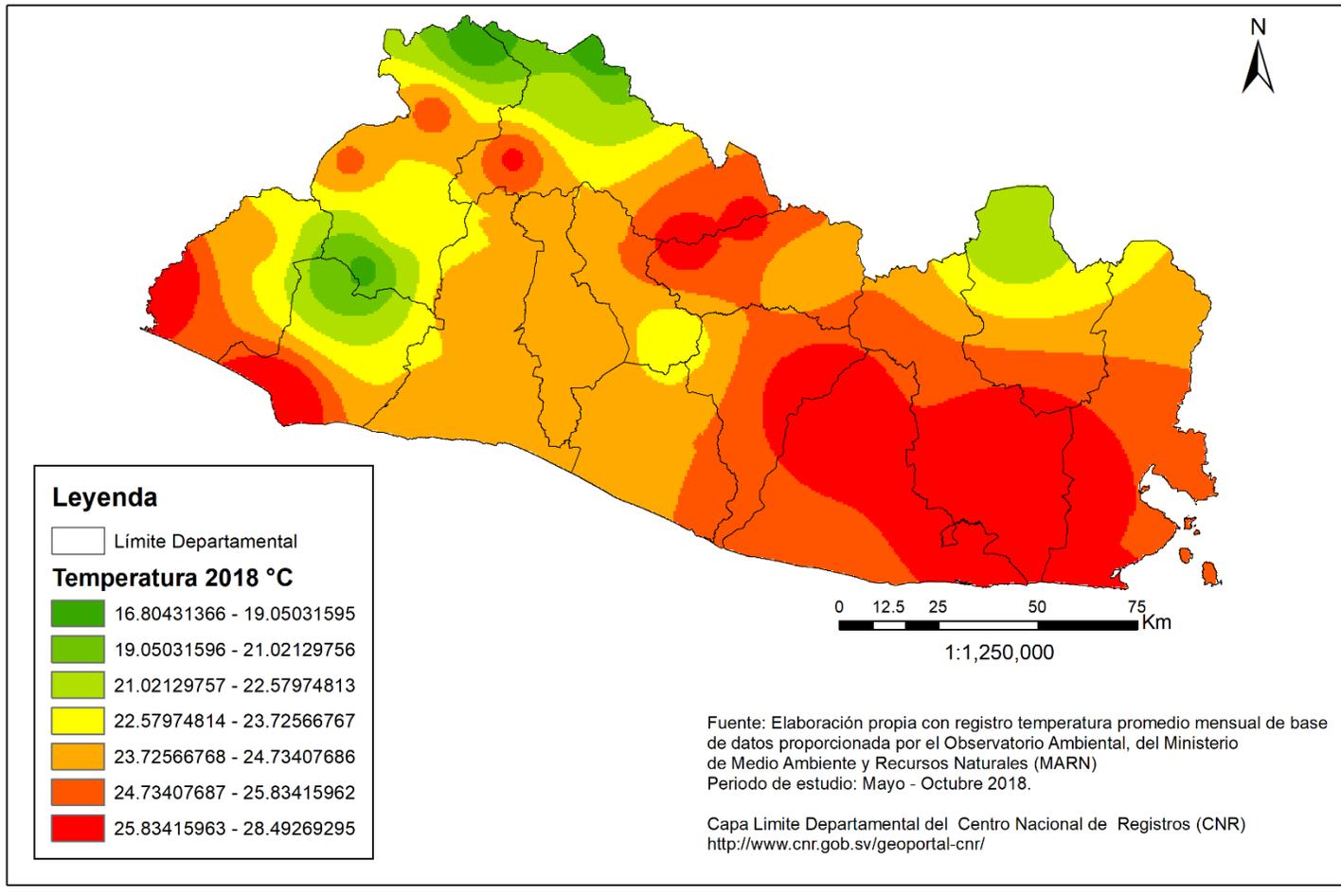


Figura 39. Mapa nacional de temperatura, 2018

3.1.3 Mapas nacionales de humedad relativa

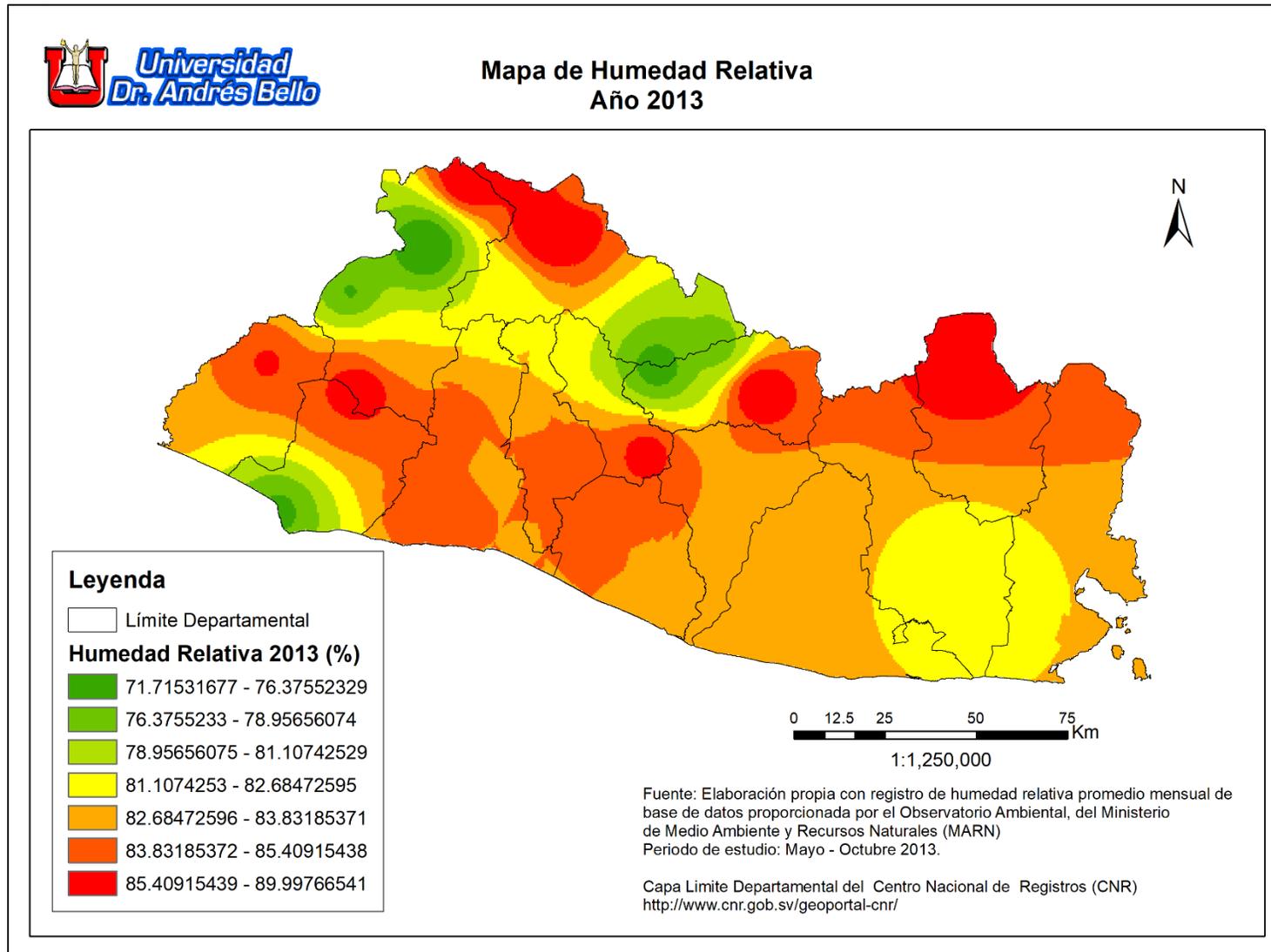


Figura 40. Mapa nacional de humedad relativa, 2013

Mapa de Humedad Relativa Año 2014

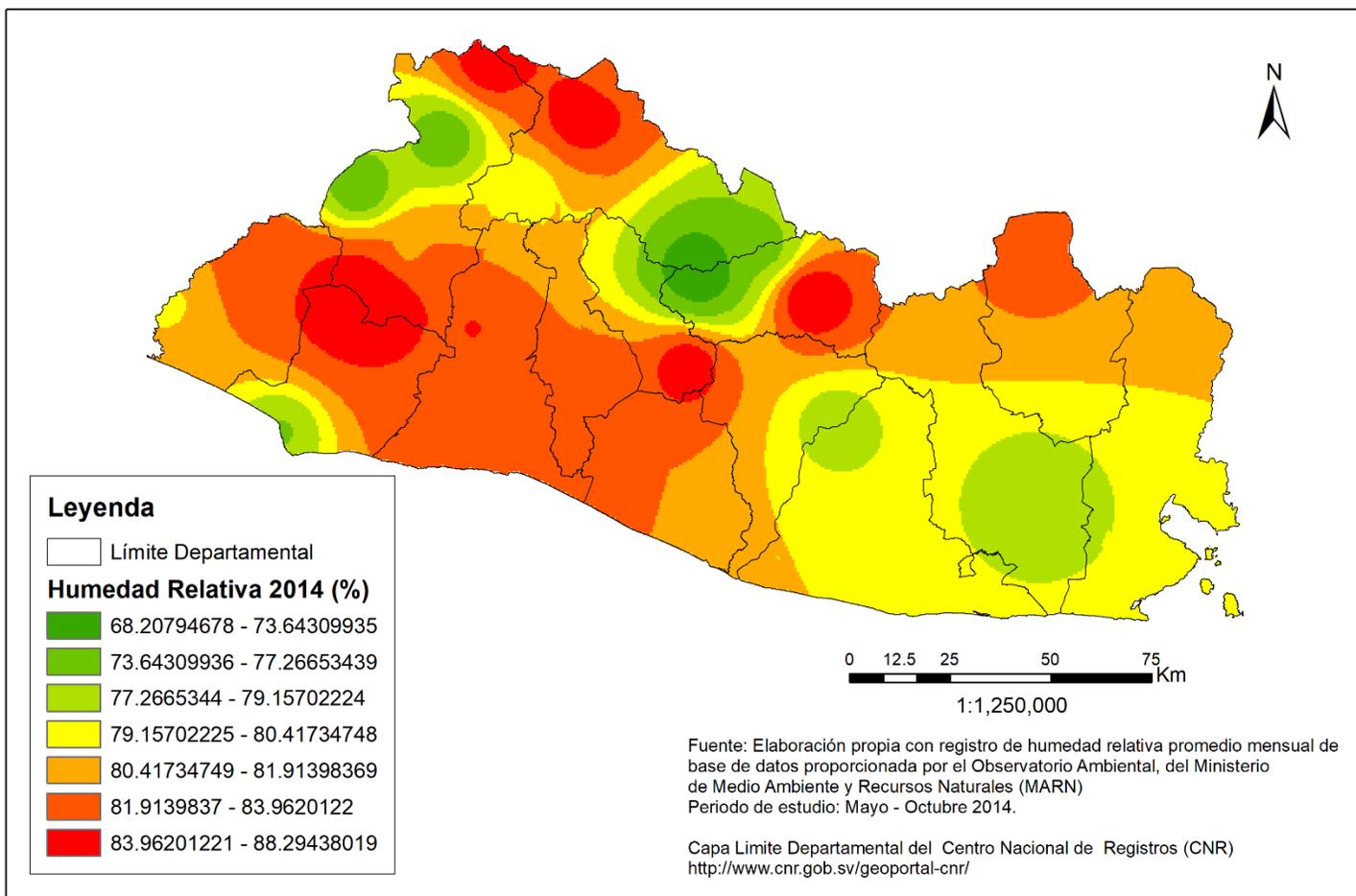


Figura 41. Mapa nacional de humedad relativa, 2014

Mapa de Humedad Relativa Año 2015

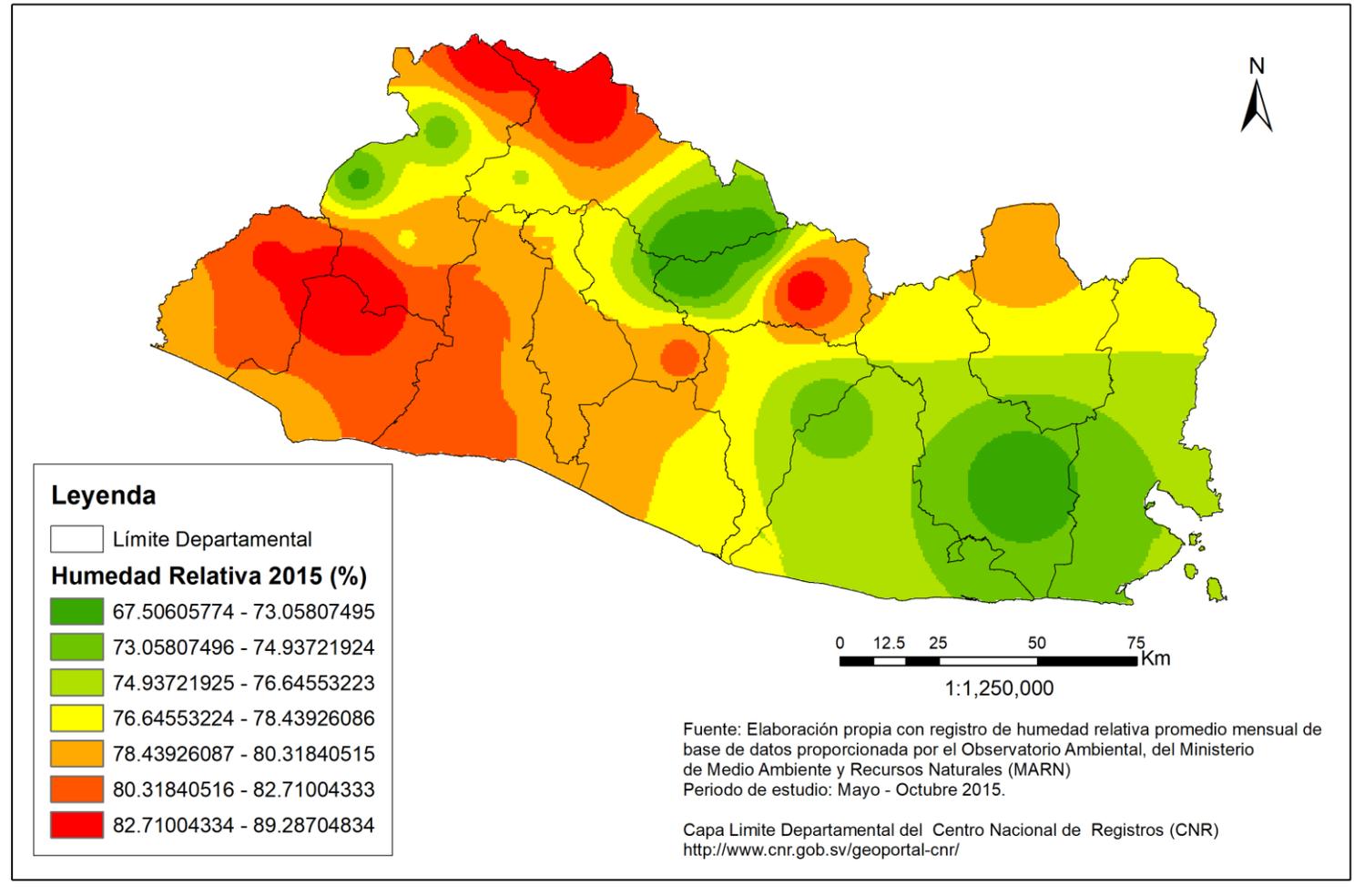


Figura 42. Mapa nacional de humedad relativa, 2015

**Mapa de Humedad Relativa
Año 2016**

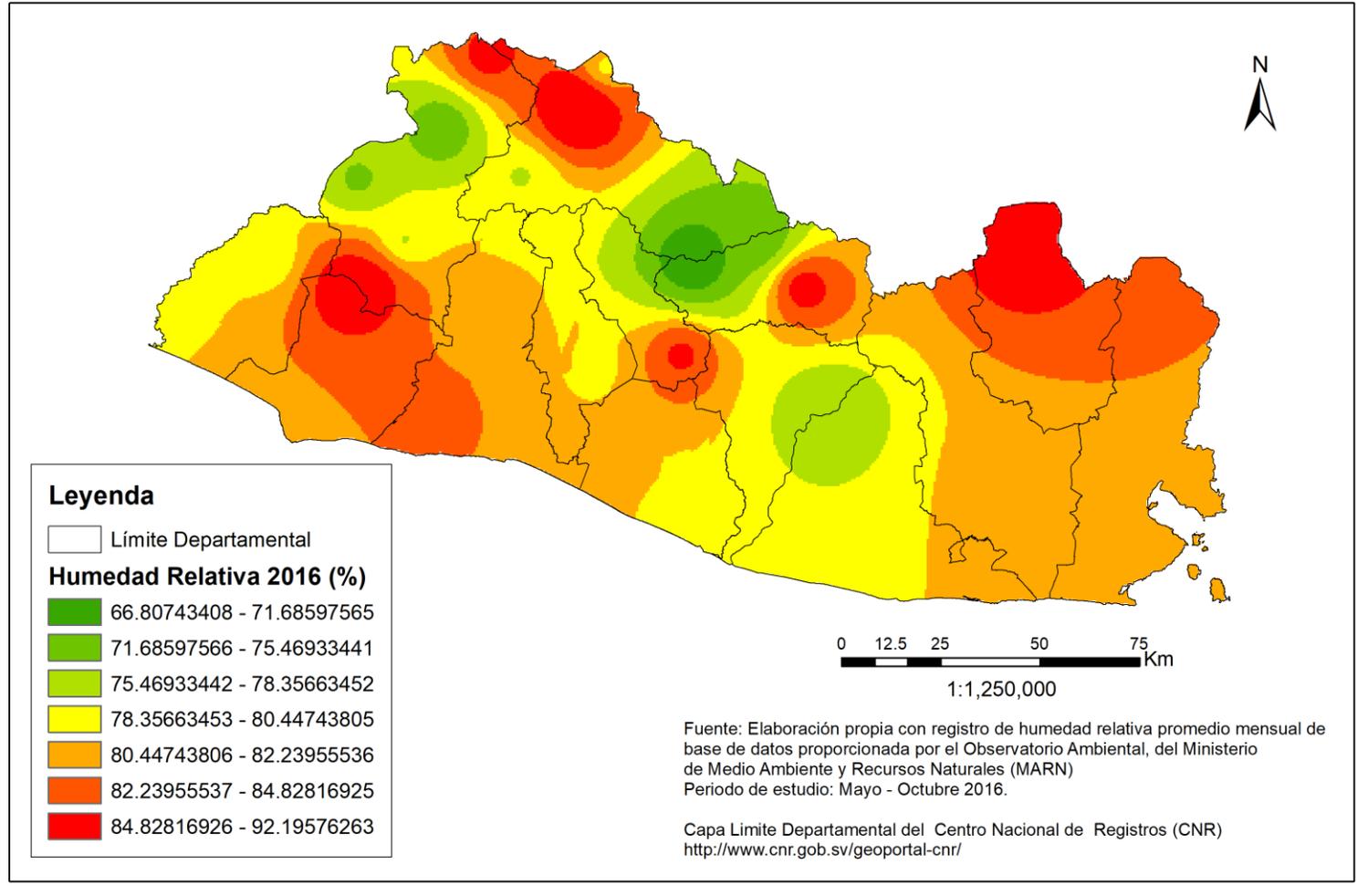


Figura 43. Mapa nacional de humedad relativa, 2016

**Mapa de Humedad Relativa
Año 2017**

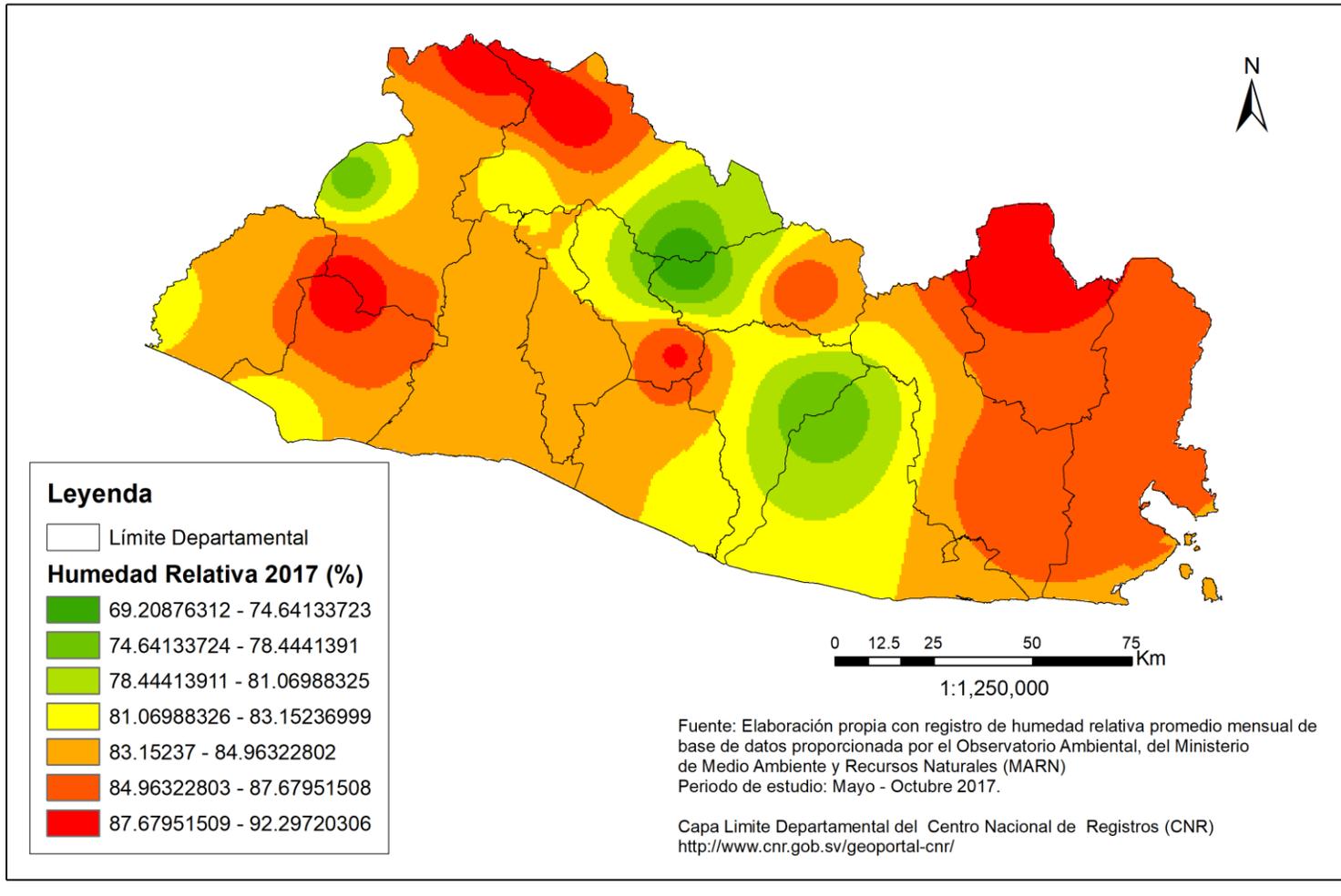


Figura 44. Mapa nacional de humedad relativa, 2017

Mapa de Humedad Relativa Año 2018

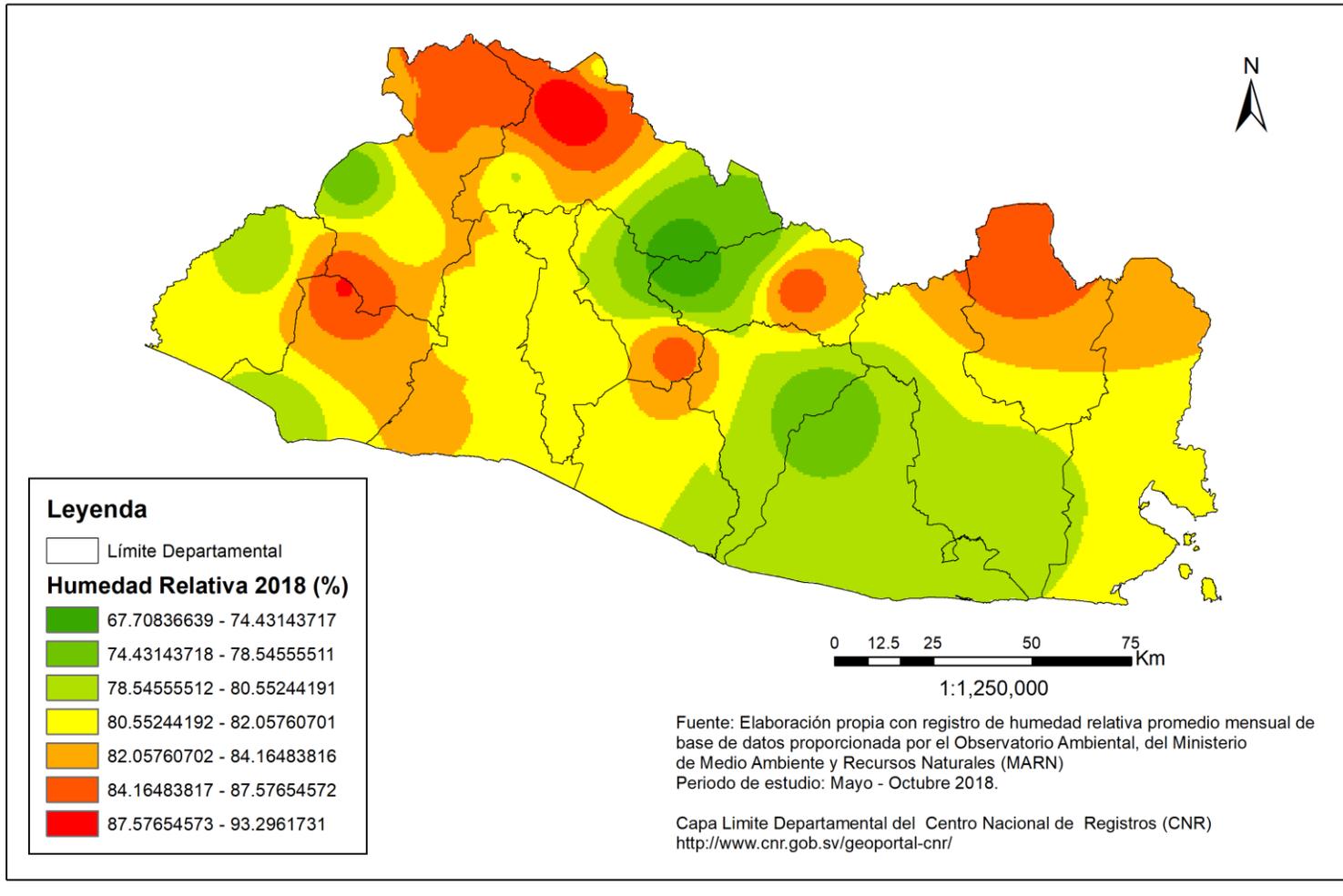


Figura 45. Mapa nacional de humedad relativa, 2018

3.1.4 Análisis de correlación nacional

Correlación bivariada arroz 2013, nacional					
		Área estimada cultivo arroz 2013	Precipitación 2013	Temperatura 2013	Humedad relativa 2013
Área estimada cultivo arroz 2013	Correlación de Pearson	1	-.236**	.182**	-.145**
	Sig. (bilateral)		0.000	0.000	0.000
	N	12738	12738	12738	12738
Precipitación 2013	Correlación de Pearson	-.236**	1	-.708**	.359**
	Sig. (bilateral)	0.000		0.000	0.000
	N	12738	12738	12738	12738
Temperatura 2013	Correlación de Pearson	.182**	-.708**	1	-.735**
	Sig. (bilateral)	0.000	0.000		0.000
	N	12738	12738	12738	12738
Humedad relativa 2013	Correlación de Pearson	-.145**	.359**	-.735**	1
	Sig. (bilateral)	0.000	0.000	0.000	
	N	12738	12738	12738	12738

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la interpolación.

Tabla 5. Correlación bivariada arroz 2013, nacional

En la tabla de correlación bivariada del año 2013 para el cultivo de arroz a nivel nacional, se muestran tanto las variables incluidas para el análisis, como los coeficientes de correlación respectivos, evidenciando relaciones de tipo inversa y directa, con niveles de significatividad de 0.05 y 0.01.

Si bien es cierto, las correlaciones más altas se encuentran entre temperatura y humedad relativa ($R = -0.735$) y entre precipitación y temperatura ($R = -0.708$), ambas significativas en nivel 0.01; también se determinó que el área estimada de cultivo de arroz para el año 2013, tiene correlación con los tres parámetros ambientales incluidos en esta investigación: con precipitación ($R = -0.236$), con temperatura ($R = 0.182$) y humedad relativa ($R = -0.145$); presentando en los tres casos una significatividad en el nivel 0.01.

Correlación bivariada maíz 2013, nacional					
		Área estimada cultivo maíz 2013	Precipitación 2013	Temperatura 2013	Humedad relativa 2013
Área estimada cultivo maíz 2013	Correlación de Pearson	1	-.108**	.133**	-.014**
	Sig. (bilateral)		0.000	0.000	0.000
	N	2201815	2201815	2201815	2201815
Precipitación 2013	Correlación de Pearson	-.108**	1	-.641**	.403**
	Sig. (bilateral)	0.000		0.000	0.000
	N	2201815	2201815	2201815	2201815
Temperatura 2013	Correlación de Pearson	.133**	-.641**	1	-.257**
	Sig. (bilateral)	0.000	0.000		0.000
	N	2201815	2201815	2201815	2201815
Humedad relativa 2013	Correlación de Pearson	-.014**	.403**	-.257**	1
	Sig. (bilateral)	0.000	0.000	0.000	
	N	2201815	2201815	2201815	2201815
**. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).					

Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la interpolación.

Tabla 6. Correlación bivariada maíz 2013, nacional

Siempre en el año 2013, pero en el caso del cultivo de maíz, las correlaciones más altas son entre los parámetros ambientales (al igual que en el cultivo del arroz), siendo las siguientes: precipitación y temperatura ($R = -0.641$); precipitación y humedad relativa ($R = 0.403$); temperatura y humedad relativa ($R = -0.257$). Esta última correlación responde a la relación inversa que por lo general existe entre dichas variables.

El área estimada de cultivo de maíz en 2013 presentó correlación con los tres parámetros ambientales, obteniendo en los tres casos nivel significativo de 0.01; con coeficientes: precipitación ($R = -0.108$), temperatura (0.133) y humedad relativa ($R = -0.014$), siendo este último coeficiente mucho más bajo que el de la relación identificada entre el área estimada de arroz y la humedad relativa del mismo año.

Correlación bivariada arroz 2014, nacional					
		Área estimada cultivo arroz 2014	Precipitación 2014	Temperatura 2014	Humedad relativa 2014
Área estimada cultivo arroz 2014	Correlación de Pearson	1	.174**	-.149**	.226**
	Sig. (bilateral)		0.000	0.000	0.000
	N	48625	48625	48625	48625
Precipitación 2014	Correlación de Pearson	.174**	1	-.936**	.624**
	Sig. (bilateral)	0.000		0.000	0.000
	N	48625	48625	48625	48625
Temperatura 2014	Correlación de Pearson	-.149**	-.936**	1	-.543**
	Sig. (bilateral)	0.000	0.000		0.000
	N	48625	48625	48625	48625
Humedad relativa 2014	Correlación de Pearson	.226**	.624**	-.543**	1
	Sig. (bilateral)	0.000	0.000	0.000	
	N	48625	48625	48625	48625
**. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).					

Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la interpolación.

Tabla 7. Correlación bivariada arroz 2014, nacional

En el año 2014 la base de datos de parámetros ambientales (con un total de 48,625 registros) obtenida de la interpolación realizada, presenta dos correlaciones directas y una inversa con el área estimada del cultivo de arroz para dicho año. Según el siguiente detalle se identificó relación del área de arroz con: precipitación ($R=0.174$), temperatura ($R= -0.149$) y humedad relativa ($R=0.226$).

Se obtuvieron diferentes correlaciones entre parámetros ambientales, claramente más altas que las obtenidas con el área estimada del cultivo de arroz. Precipitación y temperatura ($R= -0.936$), humedad relativa y precipitación ($R= 0.624$), temperatura y humedad relativa ($R= -0.543$). En este caso, todas las correlaciones mencionadas, son en el nivel 0.01.

Correlación bivariada maíz 2014, nacional					
		Área estimada cultivo maíz 2014	Precipitación 2014	Temperatura 2014	Humedad relativa 2014
Área estimada cultivo maíz 2014	Correlación de Pearson	1	.041**	.041**	.054**
	Sig. (bilateral)		0.000	0.000	0.000
	N	2847328	2847328	2847328	2847328
Precipitación 2014	Correlación de Pearson	.041**	1	-.677**	.455**
	Sig. (bilateral)	0.000		0.000	0.000
	N	2847328	2847328	2847328	2847328
Temperatura 2014	Correlación de Pearson	.041**	-.677**	1	-.538**
	Sig. (bilateral)	0.000	0.000		0.000
	N	2847328	2847328	2847328	2847328
Humedad relativa 2014	Correlación de Pearson	.054**	.455**	-.538**	1
	Sig. (bilateral)	0.000	0.000	0.000	
	N	2847328	2847328	2847328	2847328
**. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).					

Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la interpolación.

Tabla 8. Correlación bivariada maíz 2014, nacional

Contrario al cultivo de arroz, el área estimada de cultivo de maíz presentó correlaciones muy bajas con los parámetros ambientales. Por ejemplo, la correlación entre el área de maíz y la precipitación fue la misma entre dicha área estimada y la temperatura ($R= 0.041$), con un nivel significativo de 0.01. En el caso de la humedad relativa, obtuvo un coeficiente de correlación de 0.054 con el área de maíz.

Con la finalidad de identificar diferencias entre los resultados nacionales y de la zona norte, en los siguientes apartados se detallan los coeficientes de correlación obtenidos en dicha zona, y en algunos casos para el mismo año y área de cultivo, estos coeficientes son mayores a los obtenidos a nivel nacional.

Correlación bivariada arroz 2015, nacional					
		Área estimada cultivo arroz 2015	Precipitación 2015	Temperatura 2015	Humedad relativa 2015
Área estimada cultivo arroz 2015	Correlación de Pearson	1	.040**	-.139**	.179**
	Sig. (bilateral)		0.000	0.000	0.000
	N	15224	15224	15224	15224
Precipitación 2015	Correlación de Pearson	.040**	1	-.818**	-.328**
	Sig. (bilateral)	0.000		0.000	0.000
	N	15224	15224	15224	15224
Temperatura 2015	Correlación de Pearson	-.139**	-.818**	1	-.221**
	Sig. (bilateral)	0.000	0.000		0.000
	N	15224	15224	15224	15224
Humedad relativa 2015	Correlación de Pearson	.179**	-.328**	-.221**	1
	Sig. (bilateral)	0.000	0.000	0.000	
	N	15224	15224	15224	15224
**. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).					

Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la interpolación.
 Tabla 9. Correlación bivariada arroz 2015, nacional

Para el año 2015, la base de datos del área estimada de cultivo de arroz estuvo compuesta por 15,224 registros, obtenidos de la capa ráster que fue elaborada mediante el método de interpolación IDW. En este caso, dicha área presentó las correlaciones más altas con los parámetros ambientales: temperatura ($R = -0.139$) y humedad relativa ($R = 0.179$), siendo relaciones inversa y directa, respectivamente. La correlación más baja del área de arroz se obtuvo con la precipitación ($R = 0.04$). A pesar de los coeficientes obtenidos, la significatividad en los tres casos fue en el nivel 0.01.

Posterior al apartado de análisis de correlación se encuentran los modelos de regresión lineal, por año para cada cultivo, donde se puede evidenciar cómo los coeficientes de correlación aportan en la construcción de los modelos planteados.

Correlación bivariada maíz 2015, nacional					
		Área estimada cultivo maíz 2015	Precipitación 2015	Temperatura 2015	Humedad relativa 2015
Área estimada cultivo maíz 2015	Correlación de Pearson	1	-.023**	.035**	-.098**
	Sig. (bilateral)		0.000	0.000	0.000
	N	2026994	2026994	2026994	2026994
Precipitación 2015	Correlación de Pearson	-.023**	1	-.774**	.288**
	Sig. (bilateral)	0.000		0.000	0.000
	N	2026994	2026994	2026994	2026994
Temperatura 2015	Correlación de Pearson	.035**	-.774**	1	-.497**
	Sig. (bilateral)	0.000	0.000		0.000
	N	2026994	2026994	2026994	2026994
Humedad relativa 2015	Correlación de Pearson	-.098**	.288**	-.497**	1
	Sig. (bilateral)	0.000	0.000	0.000	
	N	2026994	2026994	2026994	2026994
**. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).					

Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la interpolación.
Tabla 10. Correlación bivariada maíz 2015, nacional

Para el año 2015, aunque muy bajos, se identificaron coeficientes de correlaciones entre el área estimada de maíz con los parámetros ambientales, en el siguiente orden: humedad relativa (R= -0.098), temperatura (R= 0.035) y precipitación (R= -0.023). Es importante mencionar que dichas correlaciones son significativas en el nivel 0.01.

Se obtuvieron dos correlaciones de tipo inversa y una correlación directa entre los parámetros ambientales: precipitación y temperatura (R= -0.774); temperatura y humedad relativa (R= -0.497). Finalmente, la correlación entre precipitación y humedad relativa, con un coeficiente R= 0.288.

Correlación bivariada arroz 2016, nacional					
		Área estimada cultivo arroz 2016	Precipitación 2016	Temperatura 2016	Humedad relativa 2016
Área estimada cultivo arroz 2016	Correlación de Pearson	1	-.031**	-.057**	.037**
	Sig. (bilateral)		0.000	0.000	0.000
	N	32344	32344	32344	32344
Precipitación 2016	Correlación de Pearson	-.031**	1	-.699**	-.127**
	Sig. (bilateral)	0.000		0.000	0.000
	N	32344	32344	32344	32344
Temperatura 2016	Correlación de Pearson	-.057**	-.699**	1	.037**
	Sig. (bilateral)	0.000	0.000		0.000
	N	32344	32344	32344	32344
Humedad relativa 2016	Correlación de Pearson	.037**	-.127**	.037**	1
	Sig. (bilateral)	0.000	0.000	0.000	
	N	32344	32344	32344	32344
**. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).					

Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la interpolación.
 Tabla 11. Correlación bivariada arroz 2016, nacional

En el caso del cultivo de arroz para el año 2016, obtuvo correlación con los tres parámetros ambientales incluidos en la investigación, en el siguiente orden: temperatura ($R = -0.057$), humedad relativa ($R = 0.037$) y precipitación ($R = -0.031$); lo cual es valioso, ya que a pesar que son coeficientes bajos, presentan significatividad en el nivel 0.01; además de tener en cuenta que los registros de parámetros ambientales, provienen de una fuente distinta de donde se estimó el área de arroz.

La precipitación tuvo un coeficiente de correlación de $R = -0.699$ con la temperatura, y de $R = -0.127$ con la humedad relativa; con un nivel significativo de 0.01 en ambos casos. En el caso de la temperatura y la humedad relativa, no presentaron una correlación inversa (como generalmente sucede), obteniendo un $R = 0.037$.

Correlación bivariada maíz 2016, nacional					
		Área estimada cultivo maíz 2016	Precipitación 2016	Temperatura 2016	Humedad relativa 2016
Área estimada cultivo maíz 2016	Correlación de Pearson	1	.024**	.073**	.074**
	Sig. (bilateral)		0.000	0.000	0.000
	N	2478823	2478823	2478823	2478823
Precipitación 2016	Correlación de Pearson	.024**	1	-.445**	-.195**
	Sig. (bilateral)	0.000		0.000	0.000
	N	2478823	2478823	2478823	2478823
Temperatura 2016	Correlación de Pearson	.073**	-.445**	1	-.082**
	Sig. (bilateral)	0.000	0.000		0.000
	N	2478823	2478823	2478823	2478823
Humedad relativa 2016	Correlación de Pearson	.074**	-.195**	-.082**	1
	Sig. (bilateral)	0.000	0.000	0.000	
	N	2478823	2478823	2478823	2478823
**. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).					

Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la interpolación.
Tabla 12. Correlación bivariada maíz 2016, nacional

El área estimada de cultivo de maíz en el año 2016 con un total de 2,478,823 registros, presentó coeficientes de correlación con los tres parámetros ambientales, en el siguiente orden: humedad relativa (R= 0.074), temperatura (R= 0.073) y precipitación (R= 0.024), siendo todos significativos en nivel 0.01.

Por otra parte, hubo correlaciones inversas entre todos los parámetros ambientales, según el siguiente detalle: precipitación y temperatura (R= -0.445), precipitación y humedad relativa (R= -0.195), temperatura y humedad relativa (R= -0.082). Estos coeficientes también presentaron significatividad en el nivel 0.01.

Correlación bivariada arroz 2017, nacional					
		Área estimada cultivo arroz 2017	Precipitación 2017	Temperatura 2017	Humedad relativa 2017
Área estimada cultivo arroz 2017	Correlación de Pearson	1	-.009*	-.143**	.015**
	Sig. (bilateral)		0.024	0.000	0.000
	N	59311	59311	59311	59311
Precipitación 2017	Correlación de Pearson	-.009*	1	.223**	-.667**
	Sig. (bilateral)	0.024		0.000	0.000
	N	59311	59311	59311	59311
Temperatura 2017	Correlación de Pearson	-.143**	.223**	1	-.340**
	Sig. (bilateral)	0.000	0.000		0.000
	N	59311	59311	59311	59311
Humedad relativa 2017	Correlación de Pearson	.015**	-.667**	-.340**	1
	Sig. (bilateral)	0.000	0.000	0.000	
	N	59311	59311	59311	59311
*. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).					
**. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).					

Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la interpolación.

Tabla 13. Correlación bivariada arroz 2017, nacional

Inicialmente es importante resaltar que en este año, el área estimada de cultivo de arroz obtuvo el coeficiente de correlación más bajo de todo el periodo de estudio, siendo $R = -0.009$; además de tener significatividad en el nivel 0.05, que indica poca relación entre estas dos variables. El área estimada de este cultivo presentó correlación con la temperatura ($R = -0.143$) y con la humedad relativa ($R = 0.015$), ambas con nivel significativo de 0.01.

En el caso de la relación entre los parámetros ambientales, se identificaron los siguientes coeficientes: precipitación y temperatura ($R = 0.223$), temperatura y humedad relativa ($R = -0.340$), precipitación y humedad relativa ($R = -0.667$).

Correlación bivariada maíz 2017, nacional					
		Área estimada cultivo maíz 2017	Precipitación 2017	Temperatura 2017	Humedad relativa 2017
Área estimada cultivo maíz 2017	Correlación de Pearson	1	.060**	.066**	.038**
	Sig. (bilateral)		0.000	0.000	0.000
	N	2535097	2535097	2535097	2535097
Precipitación 2017	Correlación de Pearson	.060**	1	-.535**	.038**
	Sig. (bilateral)	0.000		0.000	0.000
	N	2535097	2535097	2535097	2535097
Temperatura 2017	Correlación de Pearson	.066**	-.535**	1	-.304**
	Sig. (bilateral)	0.000	0.000		0.000
	N	2535097	2535097	2535097	2535097
Humedad relativa 2017	Correlación de Pearson	.038**	.038**	-.304**	1
	Sig. (bilateral)	0.000	0.000	0.000	
	N	2535097	2535097	2535097	2535097
**. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).					

Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la interpolación.
Tabla 14. Correlación bivariada maíz 2017, nacional

En el año 2017, el área estimada del cultivo de maíz, al igual que en años anteriores, presentó relación con los tres parámetros ambientales, obteniendo coeficientes bajos; aunque con significatividad en el nivel 0.01, según el detalle: temperatura ($R= 0.066$), precipitación ($R= 0.060$) y humedad relativa ($R= 0.038$).

El coeficiente de correlación obtenido en este año entre precipitación y temperatura ($R= -0.535$), presenta mucha similitud con los obtenidos en años anteriores, incluso en el nivel de significativo de 0.01. La precipitación también tuvo un coeficiente de $R= 0.038$ en relación a la humedad relativa, igualmente con significatividad de 0.01. Finalmente, la temperatura obtuvo un $R= -0.304$ con la humedad relativa.

Correlación bivariada arroz 2018, nacional					
		Área estimada cultivo arroz 2018	Precipitación 2018	Temperatura 2018	Humedad relativa 2018
Área estimada cultivo arroz 2018	Correlación de Pearson	1	.142**	-.169**	.123**
	Sig. (bilateral)		0.000	0.000	0.000
	N	75312	75312	75312	75312
Precipitación 2018	Correlación de Pearson	.142**	1	-.499**	.262**
	Sig. (bilateral)	0.000		0.000	0.000
	N	75312	75312	75312	75312
Temperatura 2018	Correlación de Pearson	-.169**	-.499**	1	-.391**
	Sig. (bilateral)	0.000	0.000		0.000
	N	75312	75312	75312	75312
Humedad relativa 2018	Correlación de Pearson	.123**	.262**	-.391**	1
	Sig. (bilateral)	0.000	0.000	0.000	
	N	75312	75312	75312	75312
**. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).					

Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la interpolación.
Tabla 15. Correlación bivariada arroz 2018, nacional

Los coeficientes de correlación obtenidos por el área estimada del cultivo de arroz en relación a los parámetros ambientales en el año 2018 son similares a los obtenidos para los años 2013 y 2014. En este caso, dicha área tuvo correlación con precipitación ($R= 0.142$), temperatura ($R= -0.169$) y humedad relativa ($R= 0.123$); con significatividad en nivel 0.01 en los tres casos.

Como en años anteriores, los parámetros ambientales presentaron relación inversa en dos casos: precipitación y temperatura ($R= -0.499$), temperatura y humedad relativa ($R= -0.391$); además de una relación directa entre precipitación y humedad relativa ($R= 0.262$).

Correlación bivariada maíz 2018, nacional					
		Área estimada cultivo maíz 2018	Precipitación 2018	Temperatura 2018	Humedad relativa 2018
Área estimada cultivo maíz 2018	Correlación de Pearson	1	-.021**	.024**	-.007**
	Sig. (bilateral)		0.000	0.000	0.000
	N	2102963	2102963	2102963	2102963
Precipitación 2018	Correlación de Pearson	-.021**	1	-.512**	.363**
	Sig. (bilateral)	0.000		0.000	0.000
	N	2102963	2102963	2102963	2102963
Temperatura 2018	Correlación de Pearson	.024**	-.512**	1	-.571**
	Sig. (bilateral)	0.000	0.000		0.000
	N	2102963	2102963	2102963	2102963
Humedad relativa 2018	Correlación de Pearson	-.007**	.363**	-.571**	1
	Sig. (bilateral)	0.000	0.000	0.000	
	N	2102963	2102963	2102963	2102963
**. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).					

Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la interpolación.

Tabla 16. Correlación bivariada maíz 2018, nacional

El área estimada del cultivo de maíz para el año 2018 estuvo constituida por un total de 2,102,963 registros capturados de las capas correspondientes, en donde se identificó la correlación más baja de todos los años entre dicha área y la humedad relativa, con un coeficiente de $R = -0.007$, con un nivel de significatividad de 0.01. Los parámetros precipitación y temperatura también presentaron coeficientes $R = -0.021$ y $R = 0.024$ con el área de maíz, respectivamente.

La relación entre los parámetros ambientales ha sido identificada según los coeficientes de correlación obtenidos en este año, con el siguiente detalle: precipitación y temperatura ($R = -0.512$), temperatura y humedad relativa ($R = -0.571$), precipitación y humedad relativa ($R = 0.363$); en general con significatividad en el nivel 0.01.

3.1.5 Modelos de regresión lineal anuales por cultivo

A continuación, se presentan los modelos de regresión lineal para cada cultivo, obtenidos mediante procesamiento estadístico de la base de datos. En todos los casos, la variable dependiente (a predecir) fue el área estimada de cada cultivo, y las variables independientes (predictores) los parámetros ambientales.

Año 2013

Arroz

Modelo de regresión lineal nacional, arroz 2013				
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	.248 ^a	0.062	0.061	4.85917

a. Predictores: (Constante), Humedad relativa 2013, Precipitación 2013, Temperatura 2013

Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la interpolación.

Tabla 17. Resumen modelo de regresión lineal nacional, arroz 2013

ANOVA ^a						
Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	19705.295	3	6568.432	278.188	.000 ^b
	Residuo	300668.719	12734	23.611		
	Total	320374.014	12737			

a. Variable dependiente: Área estimada cultivo arroz 2013

b. Predictores: (Constante), Humedad relativa 2013, Precipitación 2013, Temperatura 2013

Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la interpolación.

Tabla 18. Análisis de varianza, modelo de regresión lineal nacional, arroz 2013

Maíz

Modelo de regresión lineal nacional, maíz 2013				
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	.140 ^a	0.020	0.020	166.13234

a. Predictores: (Constante), Humedad relativa 2013, Temperatura 2013, Precipitación 2013

Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la interpolación.

Tabla 19. Resumen modelo de regresión lineal nacional, maíz 2013

ANOVA ^a						
Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	1210115954.876	3	403371984.959	14614.950	.000 ^b
	Residuo	60769885931.294	2201811	27599.956		
	Total	61980001886.170	2201814			

a. Variable dependiente: Área estimada cultivo maíz 2013

b. Predictores: (Constante), Humedad relativa 2013, Temperatura 2013, Precipitación 2013

Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la interpolación.

Tabla 20. Análisis de varianza, modelo de regresión lineal nacional, maíz 2013

Año 2014

Arroz

Modelo de regresión lineal nacional, arroz 2014				
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	.231 ^a	0.053	0.053	15.14419
a. Predictores: (Constante), Humedad relativa 2014, Temperatura 2014, Precipitación 2014				

Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la interpolación.

Tabla 21. Resumen modelo de regresión lineal nacional, arroz 2014

ANOVA ^a						
Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	625775.370	3	208591.790	909.505	.000 ^b
	Residuo	11151050.262	48621	229.346		
	Total	11776825.632	48624			
a. Variable dependiente: Área estimada cultivo arroz 2014						
b. Predictores: (Constante), Humedad relativa 2014, Temperatura 2014, Precipitación 2014						

Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la interpolación.

Tabla 22. Análisis de varianza, modelo de regresión lineal nacional, arroz 2014

Maíz

Modelo de regresión lineal nacional, maíz 2014				
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	.128 ^a	0.016	0.016	170.35320
a. Predictores: (Constante), Humedad relativa 2014, Precipitación 2014, Temperatura 2014				

Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la interpolación.

Tabla 23. Resumen modelo de regresión lineal nacional, maíz 2014

ANOVA ^a						
Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	1380728626.494	3	460242875.498	15859.391	.000 ^b
	Residuo	82629944917.936	2847324	29020.212		
	Total	84010673544.430	2847327			
a. Variable dependiente: Área estimada cultivo maíz 2014						
b. Predictores: (Constante), Humedad relativa 2014, Precipitación 2014, Temperatura 2014						

Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la interpolación.

Tabla 24. Análisis de varianza, modelo de regresión lineal nacional, maíz 2014

Año 2015

Arroz

Modelo de regresión lineal nacional, arroz 2015				
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	.208 ^a	0.043	0.043	2.59086
a. Predictores: (Constante), Humedad relativa 2015, Temperatura 2015, Precipitación 2015				

Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la interpolación.

Tabla 25. Resumen modelo de regresión lineal nacional, arroz 2015

ANOVA ^a						
Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	4610.533	3	1536.844	228.951	.000 ^b
	Residuo	102164.889	15220	6.713		
	Total	106775.422	15223			
a. Variable dependiente: Área estimada cultivo arroz 2015						
b. Predictores: (Constante), Humedad relativa 2015, Temperatura 2015, Precipitación 2015						

Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la interpolación.

Tabla 26. Análisis de varianza, modelo de regresión lineal nacional, arroz 2015

Maíz

Modelo de regresión lineal nacional, maíz 2015				
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	.100 ^a	0.010	0.010	98.34933
a. Predictores: (Constante), Humedad relativa 2015, Precipitación 2015, Temperatura 2015				

Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la interpolación.

Tabla 27. Resumen modelo de regresión lineal nacional, maíz 2015

ANOVA ^a						
Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	199105604.006	3	66368534.669	6861.506	.000 ^b
	Residuo	19606244213.603	2026990	9672.590		
	Total	19805349817.609	2026993			
a. Variable dependiente: Área estimada cultivo maíz 2015						
b. Predictores: (Constante), Humedad relativa 2015, Precipitación 2015, Temperatura 2015						

Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la interpolación.

Tabla 28. Análisis de varianza, modelo de regresión lineal nacional, maíz 2015

Año 2016

Arroz

Modelo de regresión lineal nacional, arroz 2016				
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	.117 ^a	0.014	0.014	8.96726
a. Predictores: (Constante), Humedad relativa 2016, Temperatura 2016, Precipitación 2016				

Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la interpolación.

Tabla 29. Resumen modelo de regresión lineal nacional, arroz 2016

ANOVA ^a						
Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	36213.589	3	12071.196	150.117	.000 ^b
	Residuo	2600513.838	32340	80.412		
	Total	2636727.428	32343			
a. Variable dependiente: Área estimada cultivo arroz 2016						
b. Predictores: (Constante), Humedad relativa 2016, Temperatura 2016, Precipitación 2016						

Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la interpolación.

Tabla 30. Análisis de varianza, modelo de regresión lineal nacional, arroz 2016

Maíz

Modelo de regresión lineal nacional, maíz 2016				
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	.139 ^a	0.019	0.019	196.31173
a. Predictores: (Constante), Humedad relativa 2016, Temperatura 2016, Precipitación 2016				

Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la interpolación.

Tabla 31. Resumen modelo de regresión lineal nacional, maíz 2016

ANOVA ^a						
Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	1886908877.912	3	628969625.971	16320.639	.000 ^b
	Residuo	95529462878.501	2478819	38538.297		
	Total	97416371756.413	2478822			
a. Variable dependiente: Área estimada cultivo maíz 2016						
b. Predictores: (Constante), Humedad relativa 2016, Temperatura 2016, Precipitación 2016						

Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la interpolación.

Tabla 32. Análisis de varianza, modelo de regresión lineal nacional, maíz 2016

Año 2017

Arroz

Modelo de regresión lineal nacional, arroz 2017				
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	.147 ^a	0.022	0.022	11.79917
a. Predictores: (Constante), Humedad relativa 2017, Temperatura 2017, Precipitación 2017				

Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la interpolación.

Tabla 33. Resumen modelo de regresión lineal nacional, arroz 2017

ANOVA ^a						
Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	183362.319	3	61120.773	439.021	.000 ^b
	Residuo	8256750.609	59307	139.221		
	Total	8440112.928	59310			
a. Variable dependiente: Área estimada cultivo arroz 2017						
b. Predictores: (Constante), Humedad relativa 2017, Temperatura 2017, Precipitación 2017						

Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la interpolación.

Tabla 34. Análisis de varianza, modelo de regresión lineal nacional, arroz 2017

Maíz

Modelo de regresión lineal nacional, maíz 2017				
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	.153 ^a	0.023	0.023	446.90026
a. Predictores: (Constante), Humedad relativa 2017, Precipitación 2017, Temperatura 2017				

Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la interpolación.

Tabla 35. Resumen modelo de regresión lineal nacional, maíz 2017

ANOVA ^a						
Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	12072869455.120	3	4024289818.373	20149.675	.000 ^b
	Residuo	506308371753.878	2535093	199719.841		
	Total	518381241208.999	2535096			
a. Variable dependiente: Área estimada cultivo maíz 2017						
b. Predictores: (Constante), Humedad relativa 2017, Precipitación 2017, Temperatura 2017						

Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la interpolación.

Tabla 36. Análisis de varianza, modelo de regresión lineal nacional, maíz 2017

Año 2018

Arroz

Modelo de regresión lineal nacional, arroz 2018				
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	.190 ^a	0.036	0.036	18.03360
a. Predictores: (Constante), Humedad relativa 2018, Precipitación 2018, Temperatura 2018				

Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la interpolación.

Tabla 37. Resumen modelo de regresión lineal nacional, arroz 2018

ANOVA ^a						
Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	919818.517	3	306606.172	942.792	.000 ^b
	Residuo	24490964.605	75308	325.211		
	Total	25410783.122	75311			
a. Variable dependiente: Área estimada cultivo arroz 2018						
b. Predictores: (Constante), Humedad relativa 2018, Precipitación 2018, Temperatura 2018						

Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la interpolación.

Tabla 38. Análisis de varianza, modelo de regresión lineal nacional, arroz 2018

Maíz

Modelo de regresión lineal nacional, maíz 2018				
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	.027 ^a	0.001	0.001	26.59983
a. Predictores: (Constante), Humedad relativa 2018, Precipitación 2018, Temperatura 2018				

Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la interpolación.

Tabla 39. Resumen modelo de regresión lineal nacional, maíz 2018

ANOVA ^a						
Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	1099136.538	3	366378.846	517.813	.000 ^b
	Residuo	1487950815.713	2102959	707.551		
	Total	1489049952.252	2102962			
a. Variable dependiente: Área estimada cultivo maíz 2018						
b. Predictores: (Constante), Humedad relativa 2018, Precipitación 2018, Temperatura 2018						

Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la interpolación.

Tabla 40. Análisis de varianza, modelo de regresión lineal nacional, maíz 2018

Resumen modelos regresión lineal arroz 2013-2018				
Año	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Sig
2013	.248	0.062	0.061	.000
2014	.231	0.053	0.053	.000
2015	.208	0.043	0.043	.000
2016	.117	0.014	0.014	.000
2017	.147	0.022	0.022	.000
2018	.190	0.036	0.036	.000

Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la interpolación.

Tabla 41. Resumen de modelos de regresión lineal arroz 2013-2018, nacional

Para el área estimada del cultivo de arroz a nivel nacional, con las variables introducidas al modelo, se han obtenido coeficientes de correlación entre $R= 0.248$ (año 2013) y $R= 0.117$ (año 2016), lo que propició en los años ya mencionados, que los coeficientes de determinación fueran R^2 ajustado=0.061 y R^2 ajustado= 0.014 respectivamente. Por lo tanto, para el año 2013 puede interpretarse que el modelo puede predecir el 6.1% de la variación del área del cultivo, ante una fluctuación en los predictores. En el caso del año 2016, el modelo únicamente puede predecir un 1.4% del cambio en el área cultivada, respecto a la variabilidad en los parámetros ambientales.

Resumen modelos regresión lineal maíz 2013-2018				
Año	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Sig
2013	.140	0.020	0.020	.000
2014	.128	0.016	0.016	.000
2015	.100	0.010	0.010	.000
2016	.139	0.019	0.019	.000
2017	.153	0.023	0.023	.000
2018	.027	0.001	0.001	.000

Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la interpolación.

Tabla 42. Resumen de modelos de regresión lineal maíz 2013-2018, nacional

El área estimada del cultivo de maíz del país, obtuvo coeficientes de correlación más bajos que los del cultivo de arroz, lo cual se explica a partir de los coeficientes de correlación bivariada, obtenidos en el apartado correspondiente a dicho análisis. En este caso, el coeficiente de correlación más alto fue obtenido en el año 2013 ($R= 0.140$), y un coeficiente de determinación R^2 ajustado= 0.02; lo cual indica que el modelo puede predecir un 2% de la variación en el área estimada del cultivo de maíz, ante la fluctuación de los parámetros ambientales.

3.1.6 Análisis de variación de parámetros ambientales, áreas y precios del maíz y arroz a nivel nacional

Arroz

Año	Área total (ha)	Variación área total	T° promedio estimada	Variación T° promedio	HR% promedio estimada	Variación HR% promedio	Precipitación promedio acum.	Variación precipitación promedio acum.	Precio prom. Mayorista (USD/qq)	Variación precio prom. mayorista	Precio prom. Consumidor (USD/lb)	Variación precio prom. Consumidor
2013	1,285.72		22.25		80.86		1,934.16		\$38.05		\$0.47	
2014	4,892.75	280.55%	22.85	2.70%	78.25	-3.23%	2,001.88	3.50%	\$40.44	6.28%	\$0.50	6.38%
2015	1,714.62	-64.96%	23.10	1.09%	78.40	0.19%	1,533.56	-23.39%	\$38.26	-5.39%	\$0.47	-6.00%
2016	3,344.72	95.07%	22.95	-0.65%	79.51	1.41%	1,375.70	-10.29%	\$36.80	-3.82%	\$0.45	-4.26%
2017	6,413.66	91.75%	22.70	-1.09%	80.76	1.57%	1,871.39	36.03%	\$35.40	-3.80%	\$0.45	0.00%
2018	6,996.89	9.09%	22.65	-0.22%	80.51	-0.31%	1,819.23	-2.79%	\$35.84	1.23%	\$0.45	0.00%

Fuente: elaboración propia a partir de los datos del MARN y de los anuarios de estadísticas de la DGEA

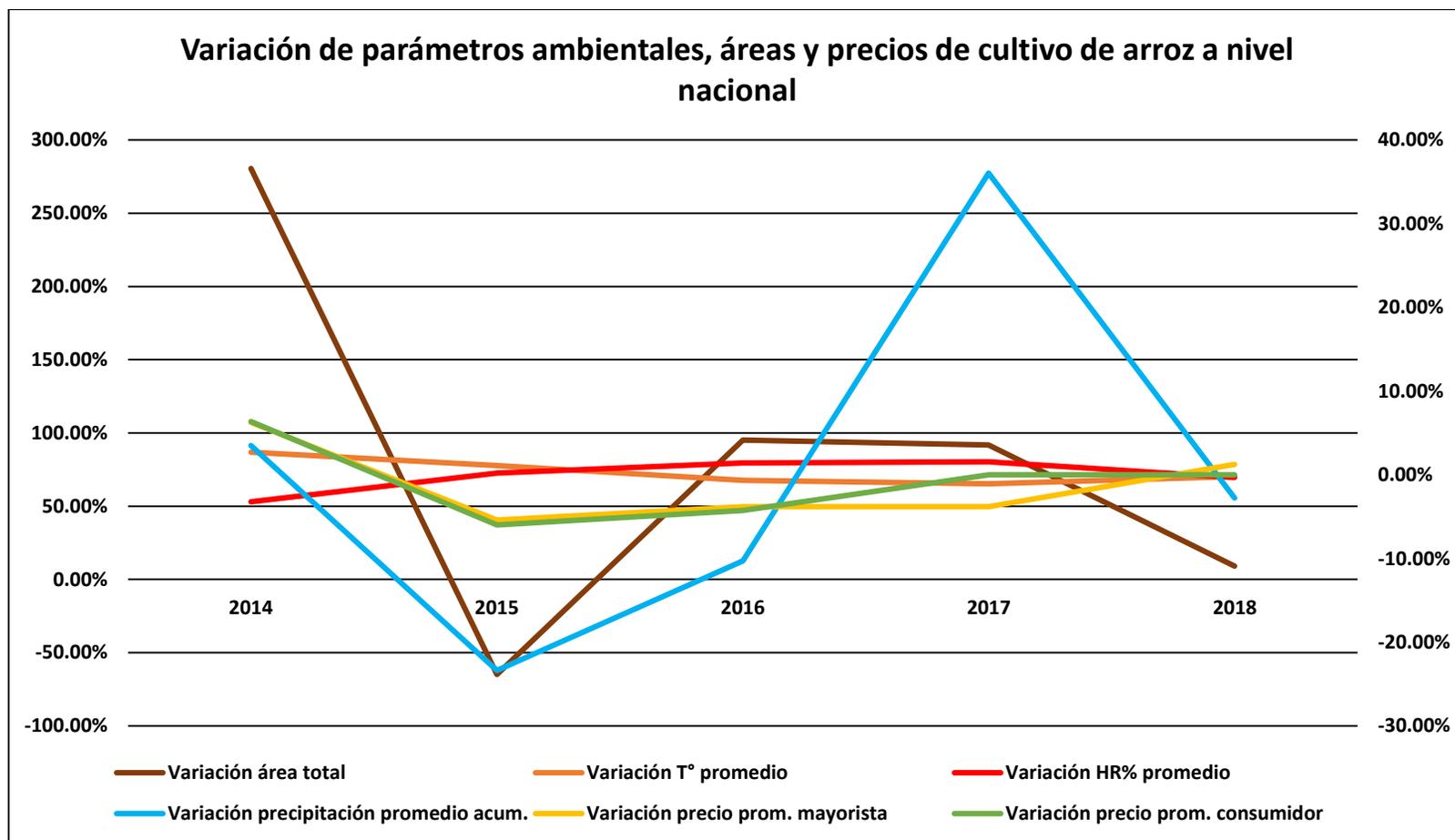
Tabla 43. Variación de parámetros ambientales, área y precio del arroz a nivel nacional

Maíz

Año	Área total (ha)	Variación área total	T° promedio estimada	Variación T° promedio	HR% promedio estimada	Variación HR% promedio	Precipitación promedio acum.	Variación precipitación promedio acum.	Precio prom. mayorista (USD/qq)	Variación precio prom. mayorista	Precio prom. Consumidor (USD/lb)	Variación precio prom. Consumidor
2013	265,072.90		22.245		80.86		1,934.16		\$14.34		\$0.20	
2014	386,763.88	45.91%	22.845	2.70%	78.25	-3.23%	2,001.88	3.50%	\$16.58	15.62%	\$0.22	10.00%
2015	275,576.03	-28.75%	23.10	1.09%	78.40	0.19%	1,533.56	-23.39%	\$20.03	20.81%	\$0.24	9.09%
2016	313,201.87	13.65%	22.95	-0.65%	79.51	1.41%	1,375.70	-10.29%	\$18.20	-9.14%	\$0.22	-8.33%
2017	337,338.86	7.71%	22.70	-1.09%	80.76	1.57%	1,871.39	36.03%	\$12.20	-32.97%	\$0.19	-13.64%
2018	195,273.57	-42.11%	22.65	-0.22%	80.51	-0.31%	1,819.23	-2.79%	\$17.47	43.20%	\$0.22	17.98%

Fuente: elaboración propia a partir de los datos del MARN y de los anuarios de estadísticas de la DGEA

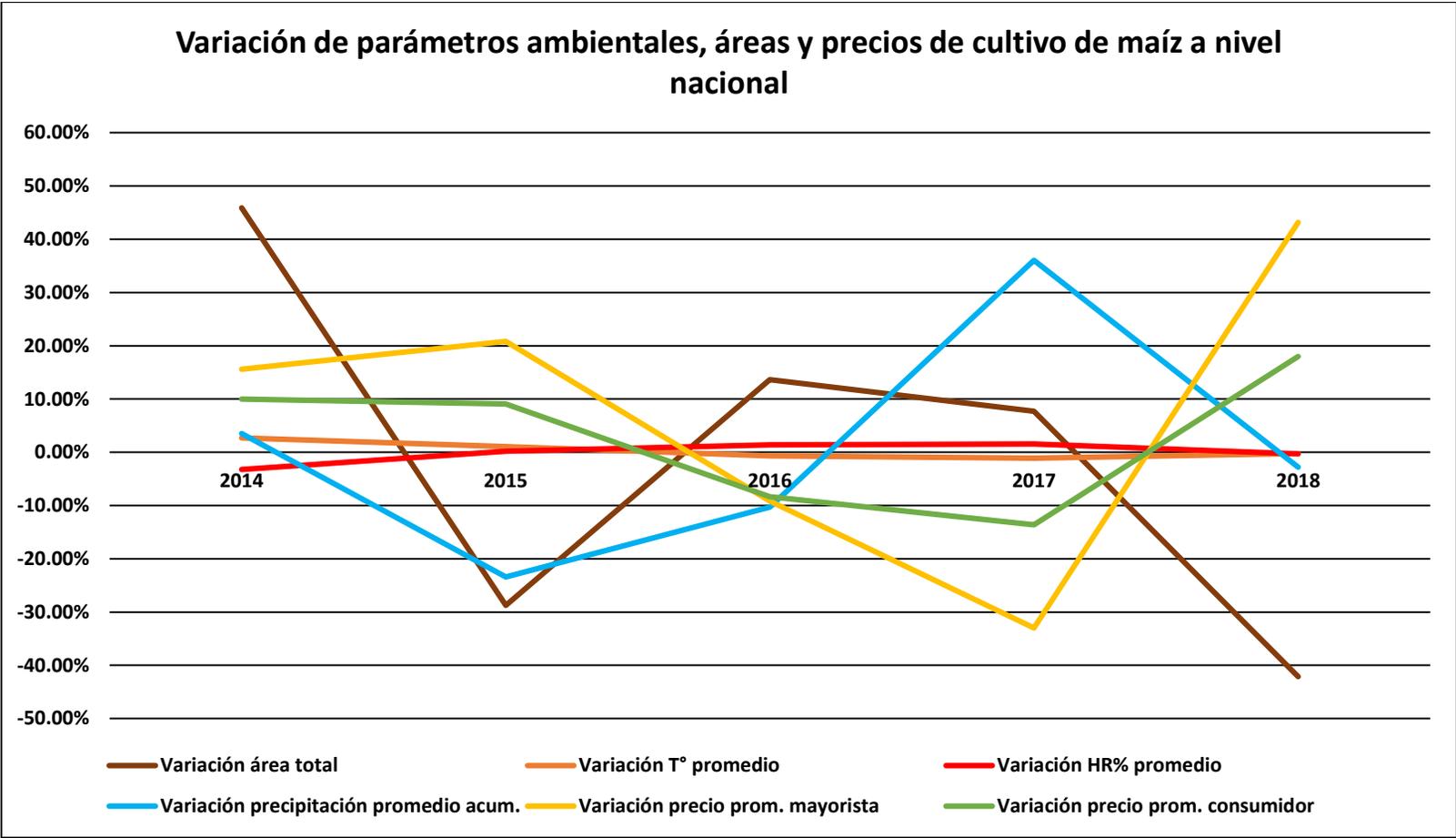
Tabla 44. Variación de parámetros ambientales, área y precio del maíz a nivel nacional



Fuente: elaboración propia a partir de los datos del MARN y de los anuarios de estadísticas de la DGEA

Gráfico 3. Variación porcentual anual de parámetros ambientales, área y precio del arroz a nivel nacional¹²

¹² La variación de área total debe ser interpretada con el eje primario (porcentajes del lado izquierdo) del gráfico. La variación de: parámetros ambientales, precio mayorista y precio de consumidor, debe interpretarse con los porcentajes del eje secundario (lado derecho del gráfico).



Fuente: elaboración propia a partir de los datos del MARN y de los anuarios de estadísticas de la DGEA
 Gráfico 4. Variación porcentual anual de parámetros ambientales, área y precio del maíz a nivel nacional

En el caso del cultivo de arroz en todo el país, se observan variaciones sobresalientes en los años 2015 y 2018. En 2015 respecto a 2014: hubo una reducción en el área estimada del cultivo de 64.96%; por otra parte, la temperatura aumentó 1.09%, de igual forma la humedad relativa incrementó 0.19%, y se estimó una reducción del 23.39% en la precipitación. Según el análisis de correlación, lo anterior puede estar vinculado con la relación identificada entre las variables en cuestión. También en 2015 respecto a 2014, hubo una reducción de 5.39% en el precio promedio a nivel mayorista del arroz, e igualmente un decremento de 6.00% en el precio promedio a nivel de consumidor; lo cual no tiene una explicación a partir de las variables incluidas en esta investigación. En el año 2018 respecto a 2017, se identificó un aumento de 9.09% en el área estimada de arroz, además de una disminución de 0.22% en la temperatura, una variación negativa de 0.31% en la humedad relativa y una reducción de 2.79% en la precipitación; también se encontraron coeficientes de correlación bajos entre el área del cultivo y los parámetros ambientales que oscilaron entre $R= 0.123$ y $R= 0.169$, lo anterior posiblemente tiene que ver con las variaciones ya mencionadas.

Para el cultivo del maíz a nivel nacional, se identificaron variaciones importantes en los años 2015, 2017 y 2018. En 2015 comparado con 2014, el área estimada de este cultivo disminuyó 64.96%, además de las variaciones de los parámetros ambientales ya mencionadas en el cultivo de arroz; junto a un alza de 20.81% en el precio a nivel mayorista y un aumento de 9.09% en el precio a nivel de consumidor. En este caso, las variaciones mencionadas se corresponden entre ellas, ya que ante una disminución en el área cultivada por decremento en la precipitación ha correspondido una fluctuación positiva en los precios tanto para mayoristas como para consumidores. También se debe tener en cuenta que la fuente de los datos es distinta, pues las áreas estimadas del cultivo que se han utilizado en esta investigación fueron obtenidas por Rivas et al. (2020), mediante el procesamiento de imágenes satelitales, los registros de parámetros ambientales de las estaciones meteorológicas utilizados para la interpolación fueron proporcionados por el MARN y los precios han sido retomados de los anuarios de la DGEA. En el año 2018 respecto a 2017, se identificó otra reducción en el área del cultivo, acompañada de las variaciones de precipitación, temperatura y humedad relativa comentadas en el cultivo de arroz; además de la correspondiente alza de 43.20% en el precio a mayoristas, y un aumento de 17.98% en el precio para consumidores finales.

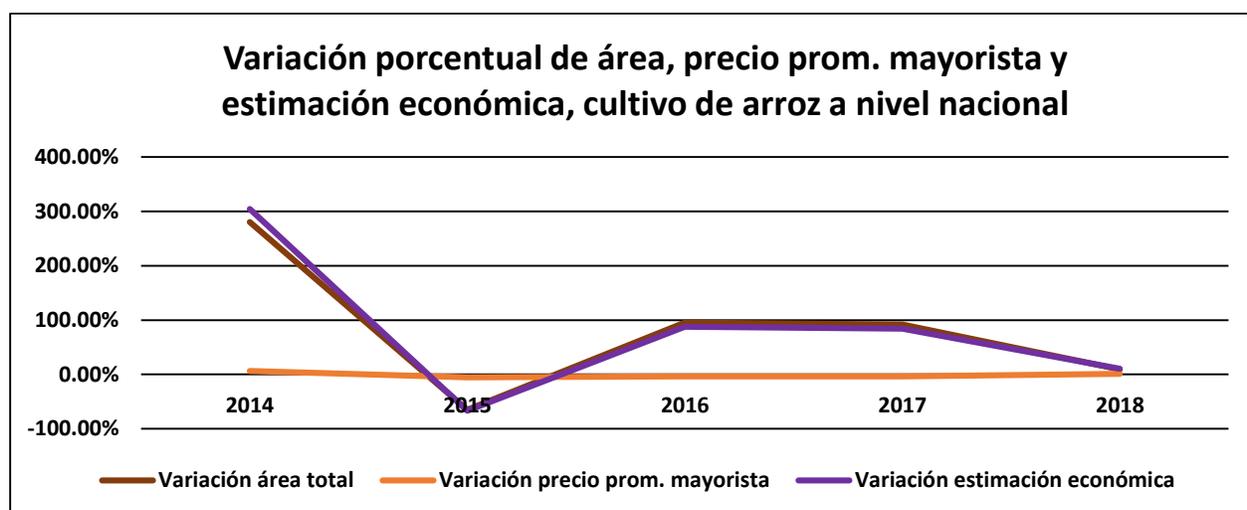
3.1.7 Estimación económica de la producción nacional de arroz y maíz

Arroz

Año	Área total (ha)	Rendimiento	Unidad área	Producción estimada (qq)	Precio prom. Mayorista (USD/qq)	Estimación económica a precio prom. mayorista
2013	1,285.72	256	qq/ha	329,144.32	\$38.05	\$12,523,941.38
2014	4,892.75			1,252,544.00	\$40.44	\$50,652,879.36
2015	1,714.62			438,942.72	\$38.26	\$16,793,948.47
2016	3,344.72			856,248.32	\$36.80	\$31,509,938.18
2017	6,413.66			1,641,896.96	\$35.40	\$58,123,152.38
2018	6,996.89			1,791,204.84	\$35.84	\$64,196,781.56

Fuente: elaboración propia a partir de los datos de los anuarios de estadísticas de la DGEA y el CENTA
 Tabla 45. Estimación económica de la producción nacional de arroz

A partir de las variaciones identificadas en el área estimada del cultivo de arroz, los parámetros ambientales y los precios, se obtuvo la estimación económica, que para el año 2015 fue de \$16,793,948.47. En 2018 respecto a 2015, la precipitación incrementó un 18.63%, lo cual concuerda con el aumento del área estimada del cultivo para 2018, por lo cual la estimación económica de la producción fue de \$64,196,781.56 para ese año. Es claro que la variación en los precios no ocurre únicamente por la disponibilidad del arroz; ya que hay factores tales como la importación, la especulación, entre otros aspectos que también influyen en los precios.



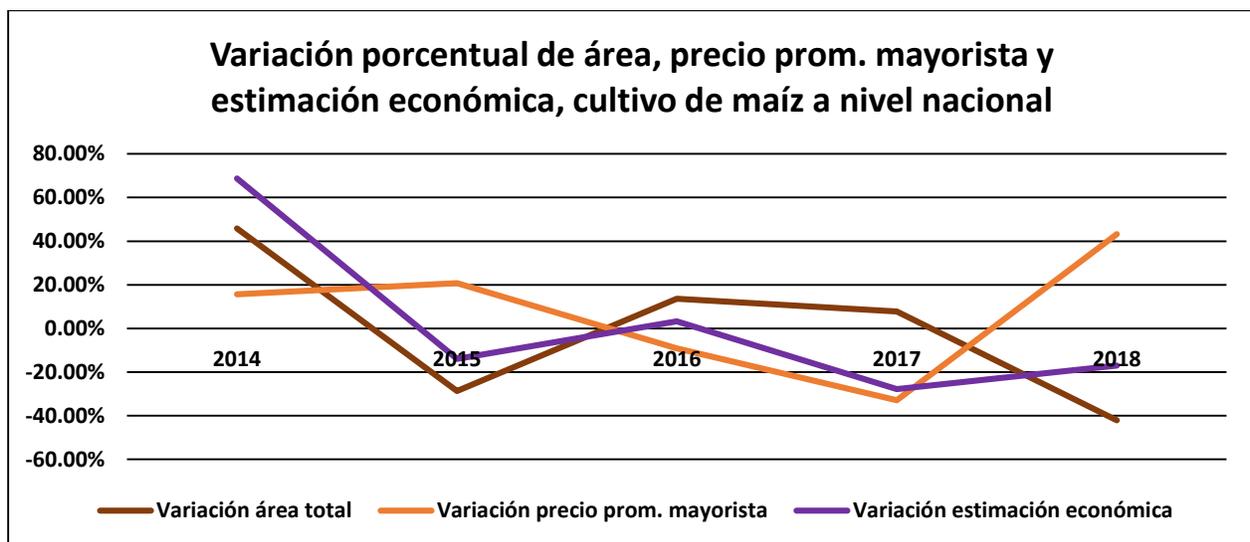
Fuente: elaboración propia a partir de los datos de los anuarios de estadísticas de la DGEA y el CENTA
 Gráfico 5. Variación porcentual anual de área, precio prom. mayorista y estimación económica de la producción nacional de arroz

Maíz

Año	Área total (ha)	Rendimiento	Unidad área	Producción estimada (qq)	Precio prom. Mayorista (USD/qq)	Estimación económica a precio prom. Mayorista
2013	265,072.90	115.65	qq/ha	30,655,680.89	\$14.34	\$439,602,463.89
2014	386,763.88			44,729,242.72	\$16.58	\$741,610,844.33
2015	275,576.03			31,870,367.87	\$20.03	\$638,363,468.43
2016	313,201.87			36,221,796.27	\$18.20	\$659,236,692.03
2017	337,338.86			39,013,239.16	\$12.20	\$475,961,517.74
2018	195,273.57			22,583,388.37	\$17.47	\$394,531,794.83

Fuente: elaboración propia a partir de los datos de los anuarios de estadísticas de la DGEA y el CENTA
 Tabla 46. Estimación económica de la producción nacional de maíz

En el caso del cultivo del maíz, las variaciones negativas en el área estimada para los años 2015 y 2018, se corresponden con la variación observada en los parámetros ambientales y al mismo tiempo, concuerdan con el alza en el precio a nivel mayorista para esos dos años; pues al obtener una cosecha menor que en otros años, el precio tiende al alza. En 2015, a pesar de haber estimado una de las producciones más bajas de maíz, se tuvo una estimación económica de \$638,363,468.43; lo anterior debido al aumento en el precio. En 2018 se identificó el área estimada más baja del periodo de estudio, lo que también conllevó a estimar una producción baja; con el segundo precio más alto del periodo, superado solo por el del año 2015.



Fuente: elaboración propia a partir de los datos de los anuarios de estadísticas de la DGEA y el CENTA
 Gráfico 6. Variación porcentual anual de área, precio prom. mayorista y estimación económica de la producción nacional de maíz

3.3 Zona Norte

3.3.1 Mapas de precipitación

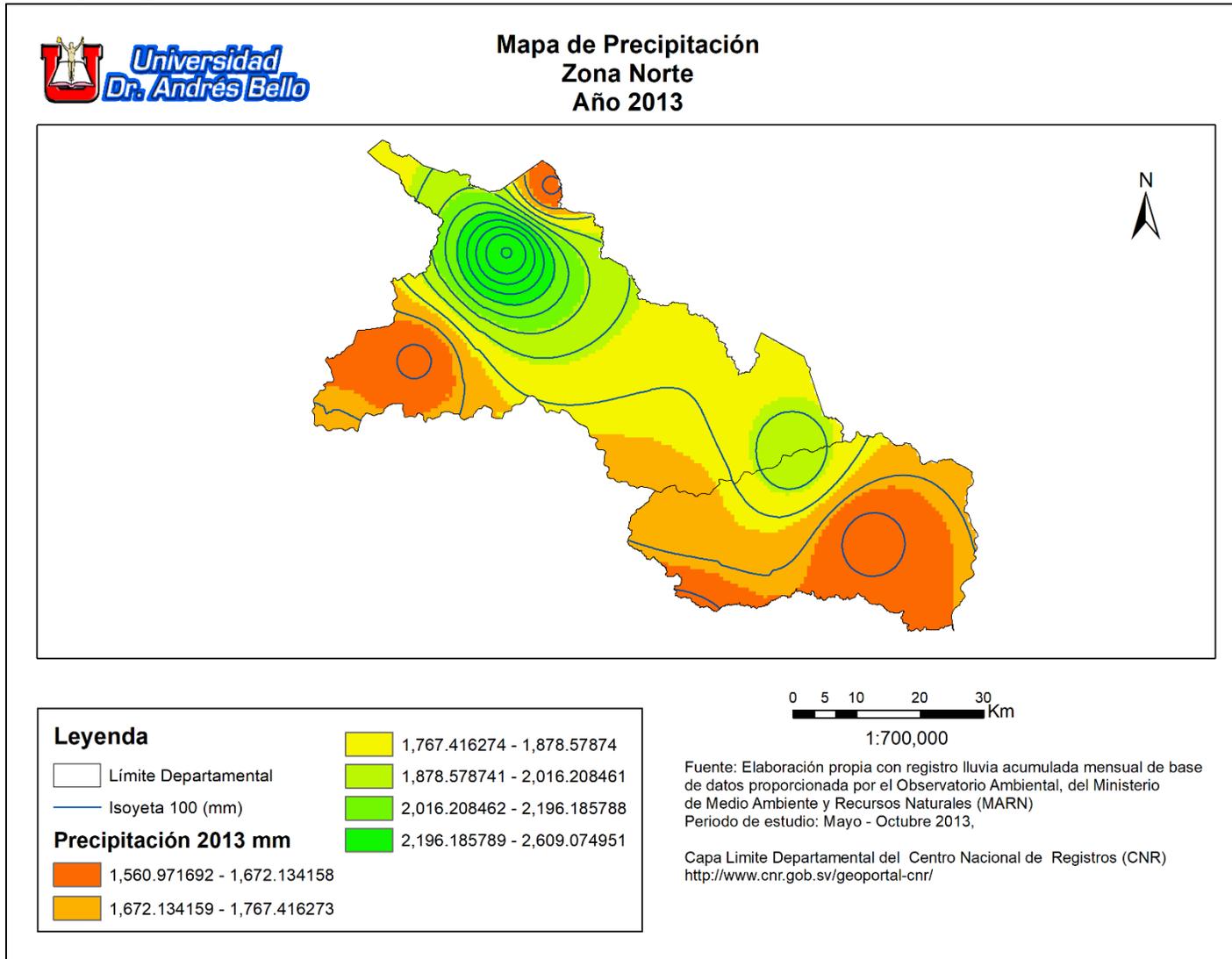
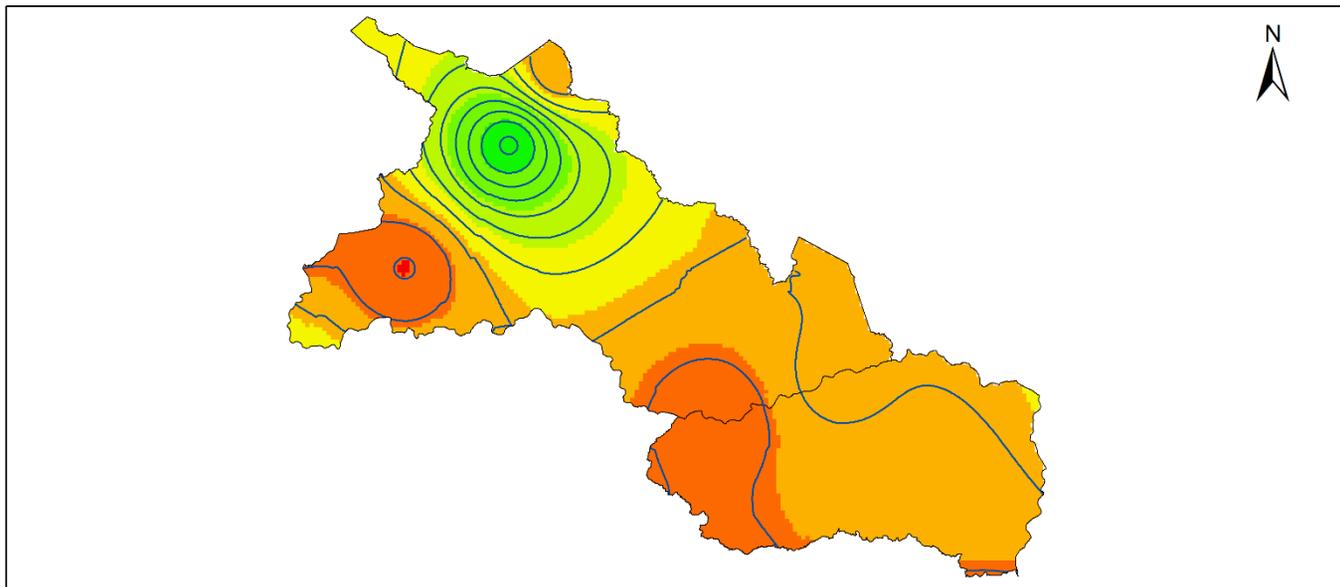


Figura 46. Mapa de precipitación, zona norte, 2013

Mapa de Precipitación
Zona Norte
Año 2014



Leyenda

	Límite Departamental		1,719.725587 - 1,832.588281
	Isoyeta 100 (mm)		1,832.588282 - 1,961.574219
Precipitación 2014 mm			1,961.57422 - 2,138.929883
	1,316.644531 - 1,596.114062		2,138.929884 - 2,391.527344
	1,596.114063 - 1,719.725586		2,391.527345 - 2,687.120117

0 5 10 20 30 Km

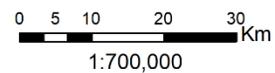
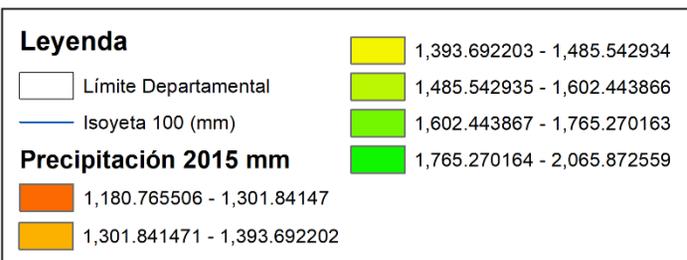
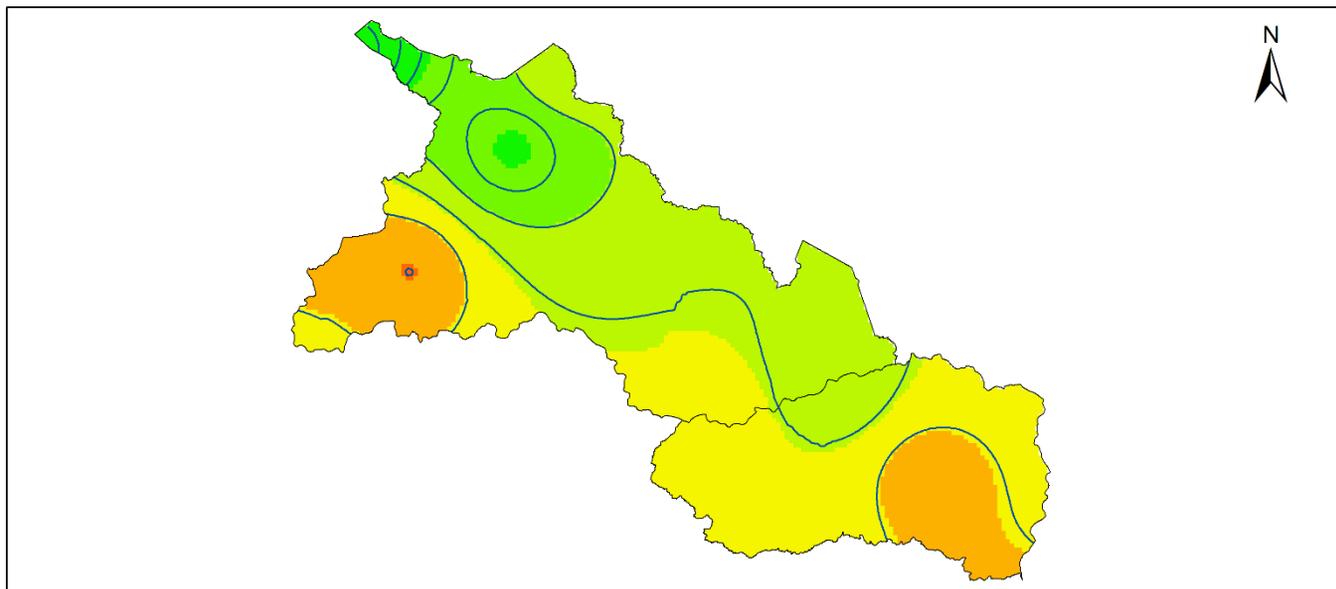
1:700,000

Fuente: Elaboración propia con registro lluvia acumulada mensual de base de datos proporcionada por el Observatorio Ambiental, del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN)
Período de estudio: Mayo - Octubre 2014,

Capa Límite Departamental del Centro Nacional de Registros (CNR)
<http://www.cnr.gob.sv/geoportail-cnr/>

Figura 47. Mapa de precipitación, zona norte, 2014

Mapa de Precipitación
Zona Norte
Año 2015

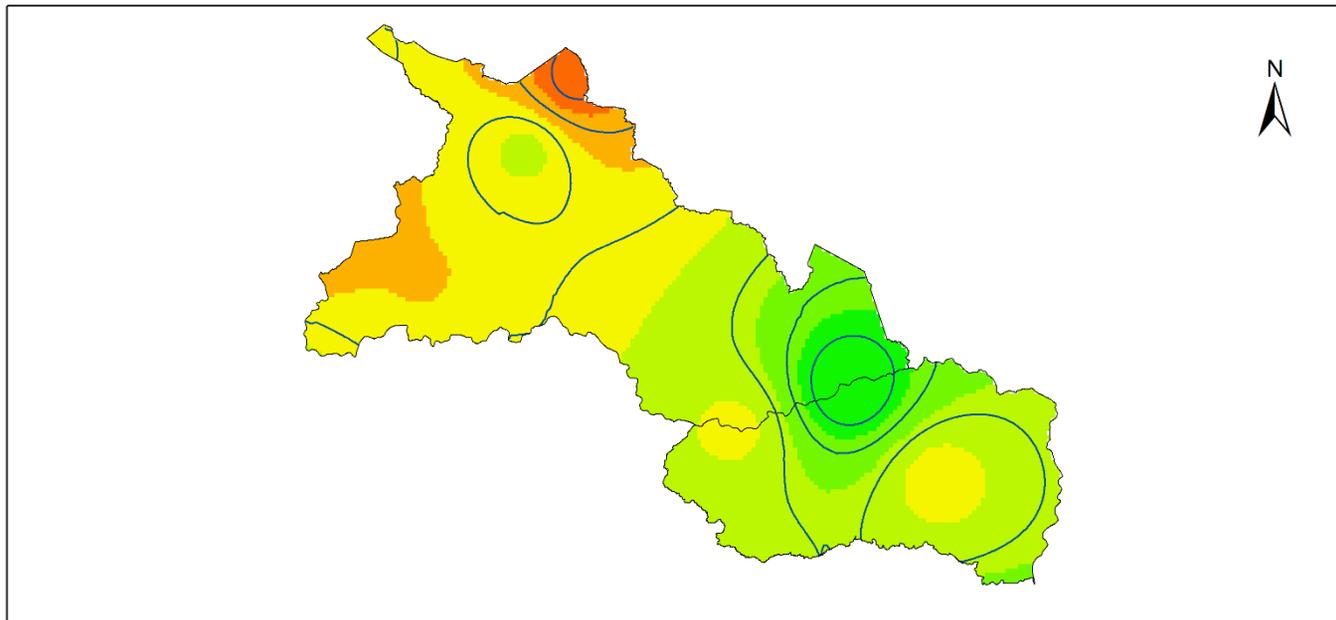


Fuente: Elaboración propia con registro lluvia acumulada mensual de base de datos proporcionada por el Observatorio Ambiental, del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN)
Periodo de estudio: Mayo - Octubre 2015,

Capa Límite Departamental del Centro Nacional de Registros (CNR)
<http://www.cnr.gob.sv/geoportal-cnr/>

Figura 48. Mapa de precipitación, zona norte, 2015

**Mapa de Precipitación
Zona Norte
Año 2016**



Leyenda

 Límite Departamental

 Isoyeta 100 (mm)

Precipitación 2016 mm

 1,110.61119 - 1,252.940922

 1,252.940923 - 1,356.129979

 1,356.12998 - 1,441.527819

 1,441.52782 - 1,530.483903

 1,530.483904 - 1,647.905933

 1,647.905934 - 1,829.376343

0 5 10 20 30 Km

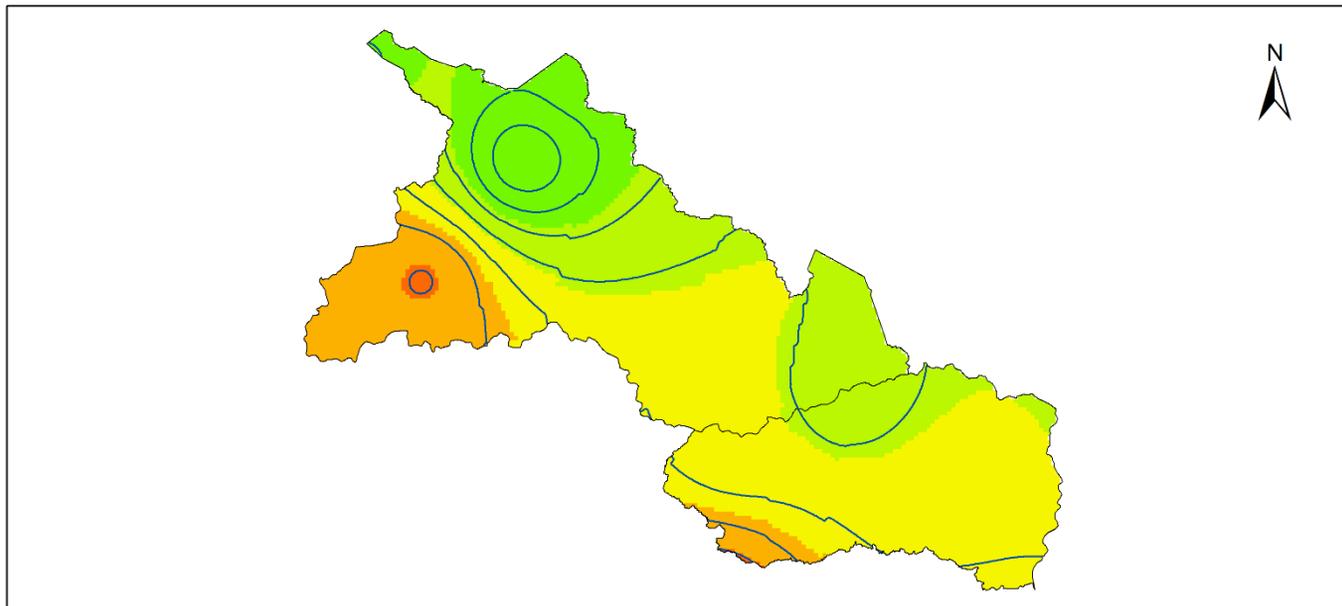
1:700,000

Fuente: Elaboración propia con registro lluvia acumulada mensual de base de datos proporcionada por el Observatorio Ambiental, del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN)
Período de estudio: Mayo - Octubre 2016.

Capa Límite Departamental del Centro Nacional de Registros (CNR)
<http://www.cnr.gob.sv/geoportal-cnr/>

Figura 49. Mapa de precipitación, zona norte, 2016

Mapa de Precipitación
Zona Norte
Año 2017



0 5 10 20 30
Km

1:700,000

Leyenda

 Límite Departamental

 Isoyeta 100 (mm)

Precipitación 2017 mm

 1,466.778999 - 1,606.498954

 1,606.498955 - 1,740.397246

 1,740.397247 - 1,880.117202

 1,880.117203 - 2,031.480488

 2,031.480489 - 2,299.277071

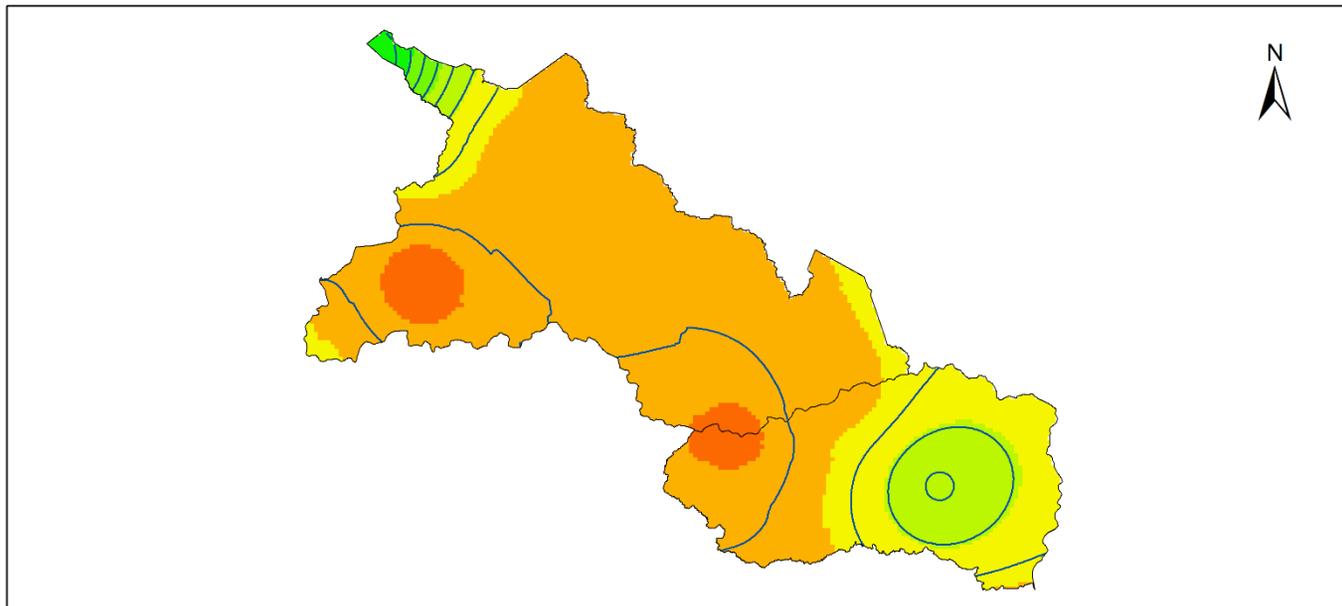
 2,299.277072 - 2,613.646973

Fuente: Elaboración propia con registro lluvia acumulada mensual de base de datos proporcionada por el Observatorio Ambiental, del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN)
Periodo de estudio: Mayo - Octubre 2017.

Capa Limite Departamental del Centro Nacional de Registros (CNR)
<http://www.cnr.gob.sv/geoportal-cnr/>

Figura 50. Mapa de precipitación, zona norte, 2017

Mapa de Precipitación
Zona Norte
Año 2018



0 5 10 20 30
Km

1:700,000

Leyenda

□ Límite Departamental

— Isoyeta 100 (mm)

Precipitación 2018 mm

■ 1,431.502959 - 1,553.694794

■ 1,553.694795 - 1,657.087885

■ 1,657.087886 - 1,788.679092

■ 1,788.679093 - 1,971.966845

■ 1,971.966846 - 2,192.852085

■ 2,192.852086 - 2,418.437012

Fuente: Elaboración propia con registro lluvia acumulada mensual de base de datos proporcionada por el Observatorio Ambiental, del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN)
Período de estudio: Mayo - Octubre 2018.

Capa Límite Departamental del Centro Nacional de Registros (CNR)
<http://www.cnr.gob.sv/geoportal-cnr/>

Figura 51. Mapa de precipitación, zona norte, 2018

3.3.2 Mapas de temperatura

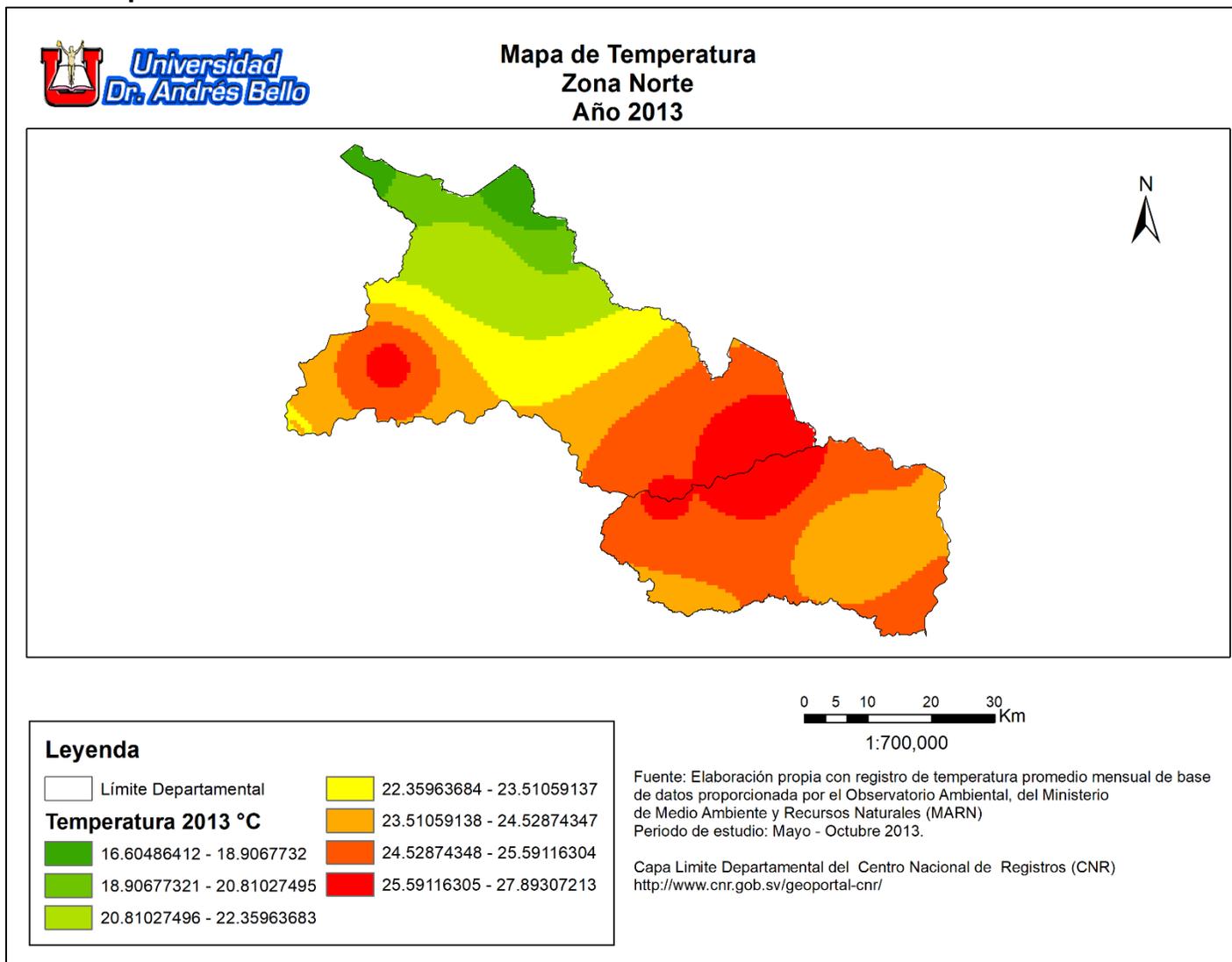
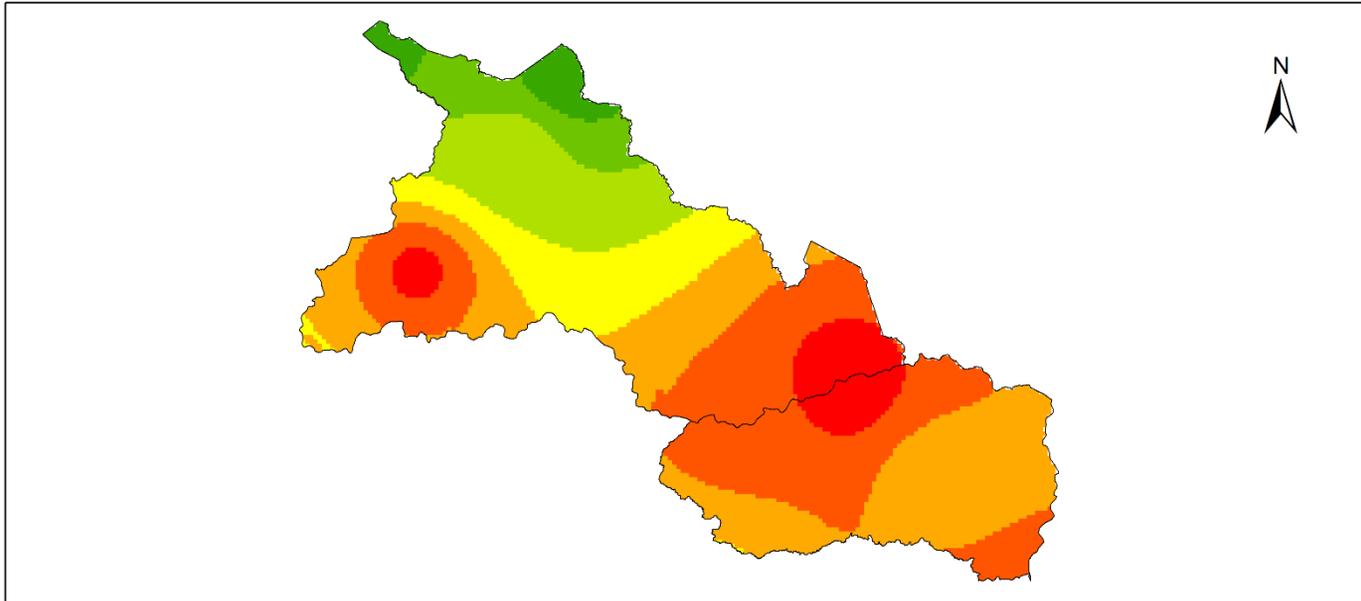


Figura 52. Mapa de temperatura, zona norte, 2013



0 5 10 20 30 Km
1:700,000

Leyenda

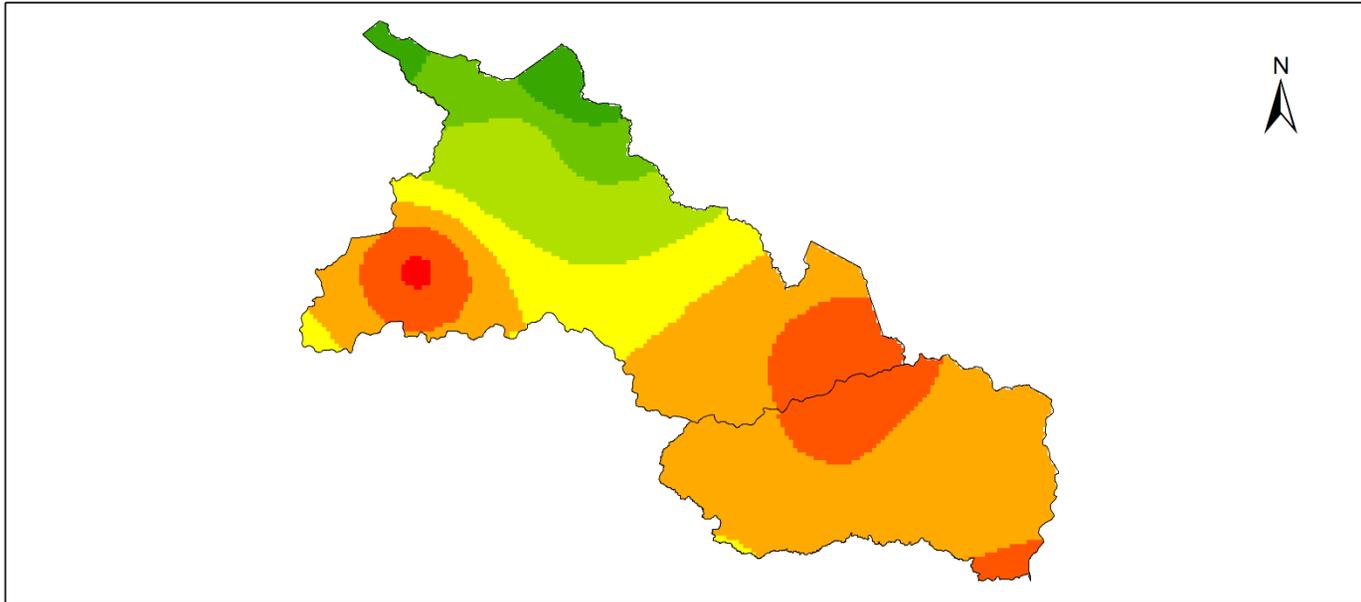
	Límite Departamental		22.63137686 - 23.78785771
Temperatura 2014 °C			23.78785772 - 24.75159175
	16.70441246 - 19.01737417		24.75159176 - 25.85988591
	19.01737418 - 20.99302897		25.85988592 - 28.99202156
	20.99302898 - 22.63137685		

Fuente: Elaboración propia con registro de temperatura promedio mensual de base de datos proporcionada por el Observatorio Ambiental, del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN)
Periodo de estudio: Mayo - Octubre 2014.

Capa Limite Departamental del Centro Nacional de Registros (CNR)
<http://www.cnr.gob.sv/geoportal-cnr/>

Figura 53. Mapa de temperatura, zona norte, 2014

Mapa de Temperatura
Zona Norte
Año 2015



0 5 10 20 30 Km
1:700,000

Leyenda

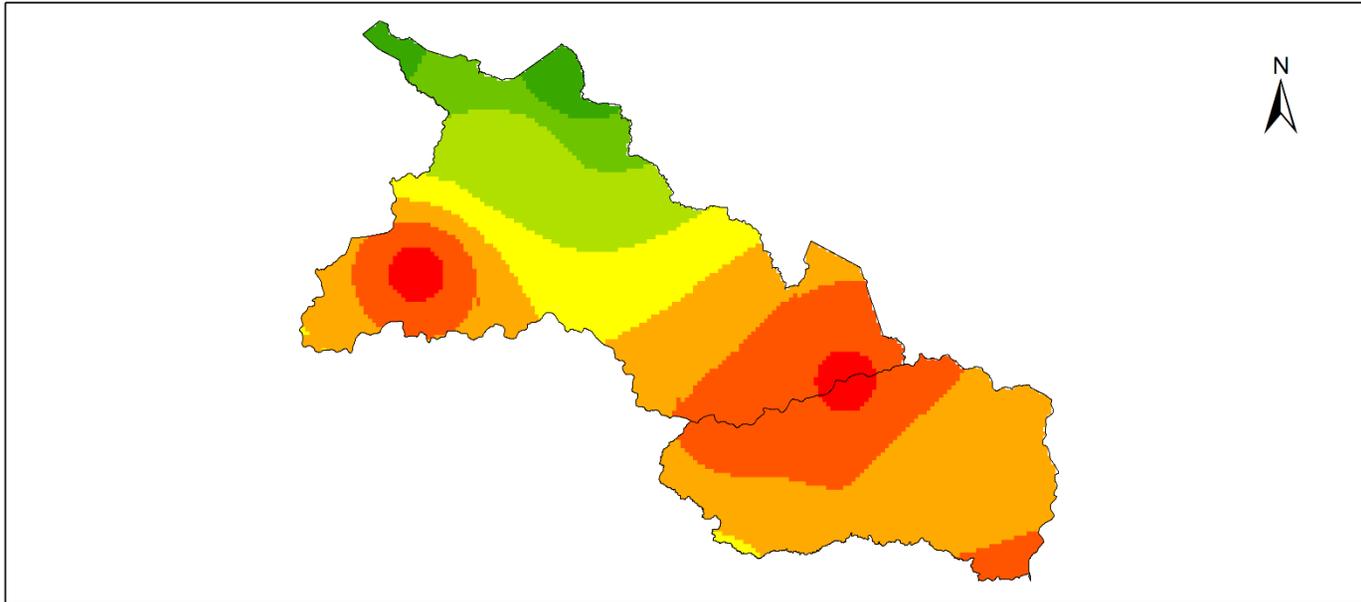
	Límite Departamental		23.26853507 - 24.38586279
Temperatura 2015 °C			24.3858628 - 25.45461106
	16.90462494 - 19.5764956		25.45461107 - 26.71767719
	19.57649561 - 21.66541266		26.7176772 - 29.29238892
	21.66541267 - 23.26853506		

Fuente: Elaboración propia con registro de temperatura promedio mensual de base de datos proporcionada por el Observatorio Ambiental, del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN)
Período de estudio: Mayo - Octubre 2015.

Capa Límite Departamental del Centro Nacional de Registros (CNR)
<http://www.cnr.gob.sv/geoportal-cnr/>

Figura 54. Mapa de temperatura, zona norte, 2015

**Mapa de Temperatura
Zona Norte
Año 2016**



0 5 10 20 30 Km
1:700,000

Leyenda

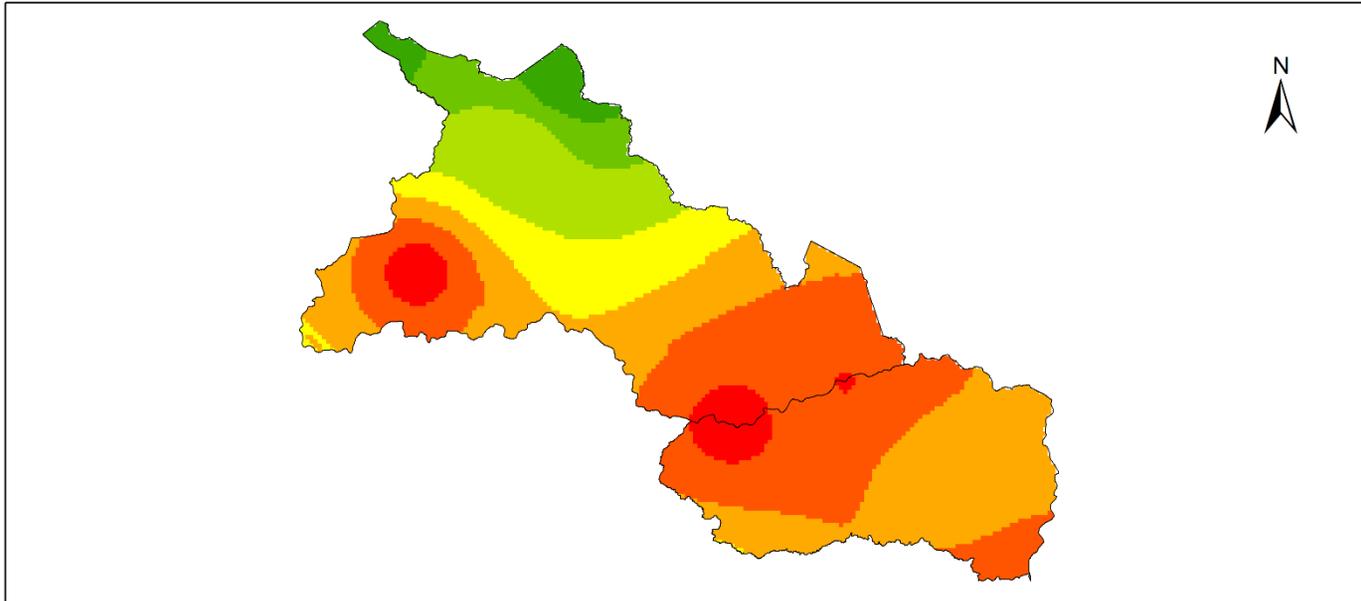
	Límite Departamental		22.92529341 - 24.04418432
Temperatura 2016 °C			24.04418433 - 25.02321388
	17.00449562 - 19.33551837		25.02321389 - 26.09548434
	19.33551838 - 21.34019793		26.09548435 - 28.89271164
	21.34019794 - 22.9252934		

Fuente: Elaboración propia con registro de temperatura promedio mensual de base de datos proporcionada por el Observatorio Ambiental, del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN)
Período de estudio: Mayo - Octubre 2016.

Capa Límite Departamental del Centro Nacional de Registros (CNR)
<http://www.cnr.gob.sv/geoportal-cnr/>

Figura 55. Mapa de temperatura, zona norte, 2016

**Mapa de Temperatura
Zona Norte
Año 2017**



0 5 10 20 30 Km
1:700,000

Leyenda

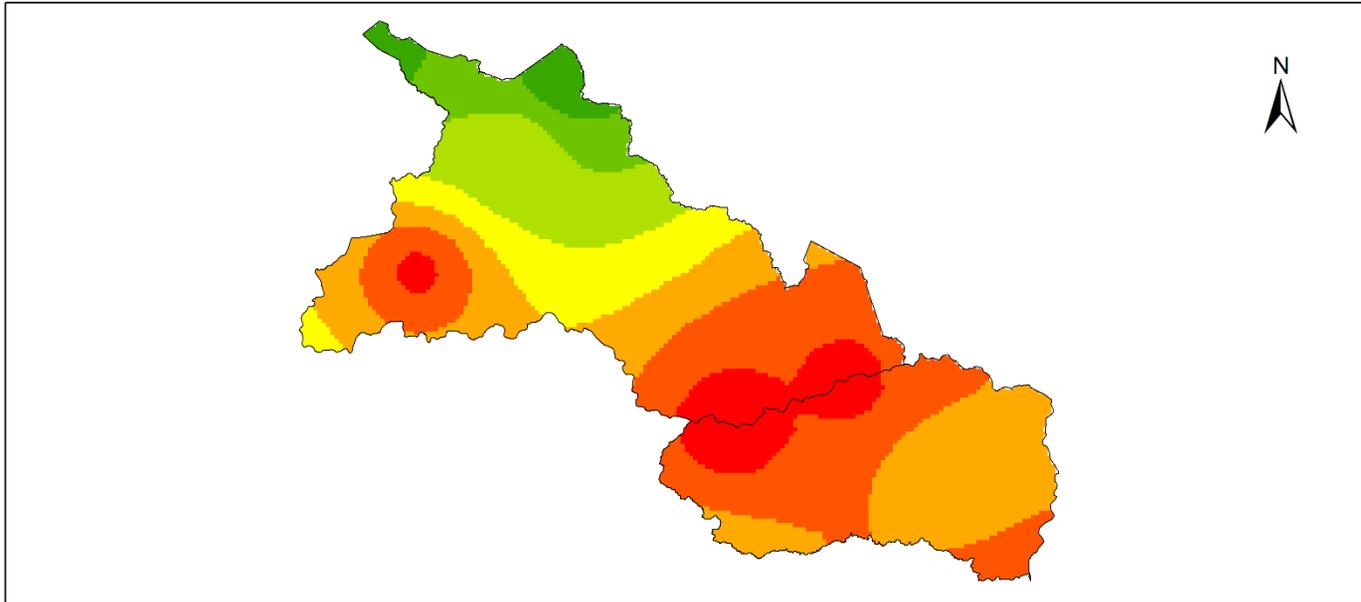
	Límite Departamental		22.49042566 - 23.59988933
Temperatura 2017 °C			23.59988934 - 24.6168977
	16.80442429 - 19.20826226		24.61689771 - 25.68013373
	19.20826227 - 21.01114074		25.68013374 - 28.59247589
	21.01114075 - 22.49042565		

Fuente: Elaboración propia con registro de temperatura promedio mensual de base de datos proporcionada por el Observatorio Ambiental, del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN)
Período de estudio: Mayo - Octubre 2017.

Capa Límite Departamental del Centro Nacional de Registros (CNR)
<http://www.cnr.gob.sv/geoportal-cnr/>

Figura 56. Mapa de temperatura, zona norte, 2017

Mapa de Temperatura
Zona Norte
Año 2018



0 5 10 20 30 Km
1:700,000

Leyenda

	Límite Departamental		22.57974814 - 23.72566767
Temperatura 2018 °C			23.72566768 - 24.73407686
	16.80431366 - 19.05031595		24.73407687 - 25.83415962
	19.05031596 - 21.02129756		25.83415963 - 28.49269295
	21.02129757 - 22.57974813		

Fuente: Elaboración propia con registro de temperatura promedio mensual de base de datos proporcionada por el Observatorio Ambiental, del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN)
Período de estudio: Mayo - Octubre 2018.

Capa Límite Departamental del Centro Nacional de Registros (CNR)
<http://www.cnr.gob.sv/geoportal-cnr/>

Figura 57. Mapa de temperatura, zona norte, 2018

3.3.3 Mapas de humedad relativa

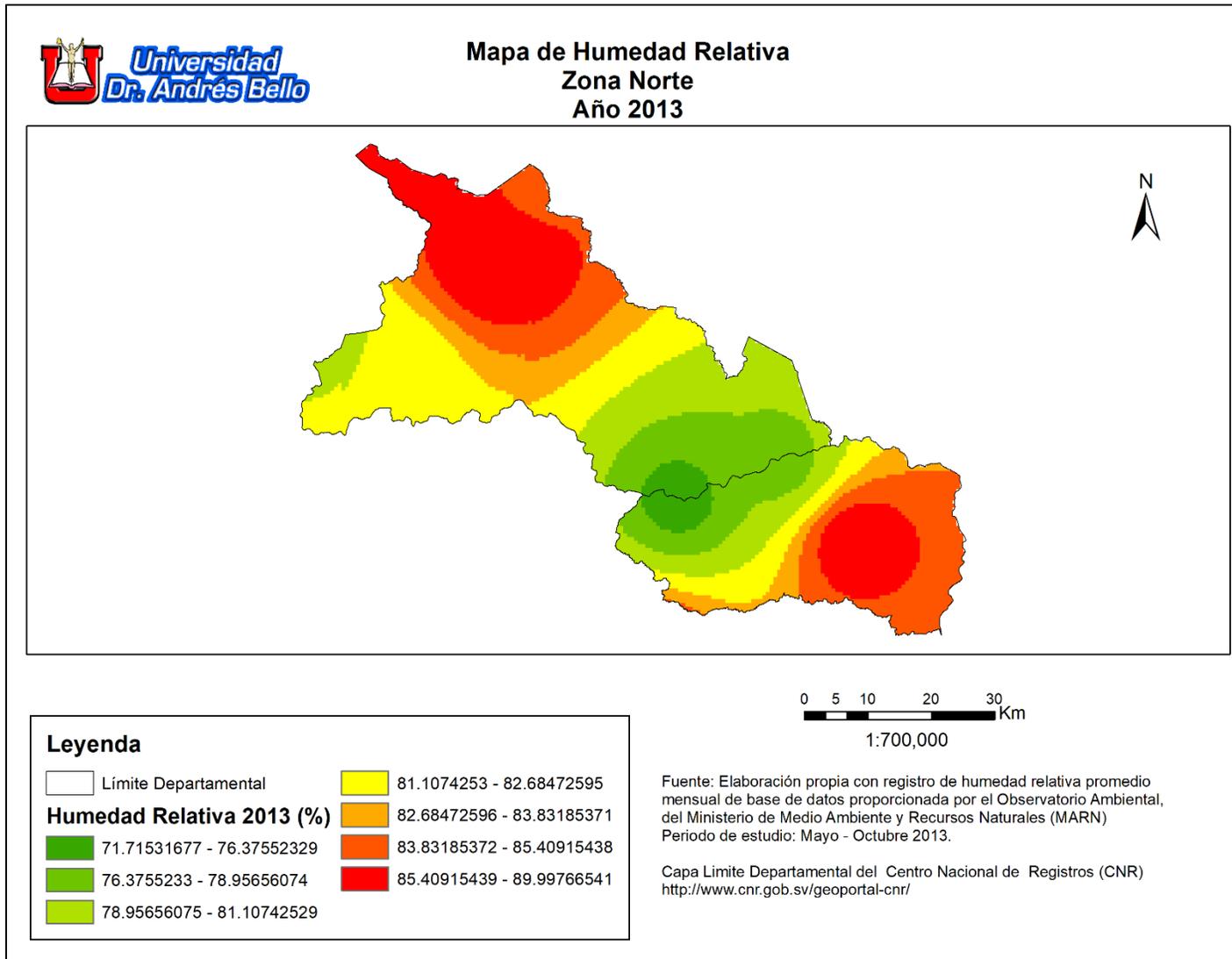
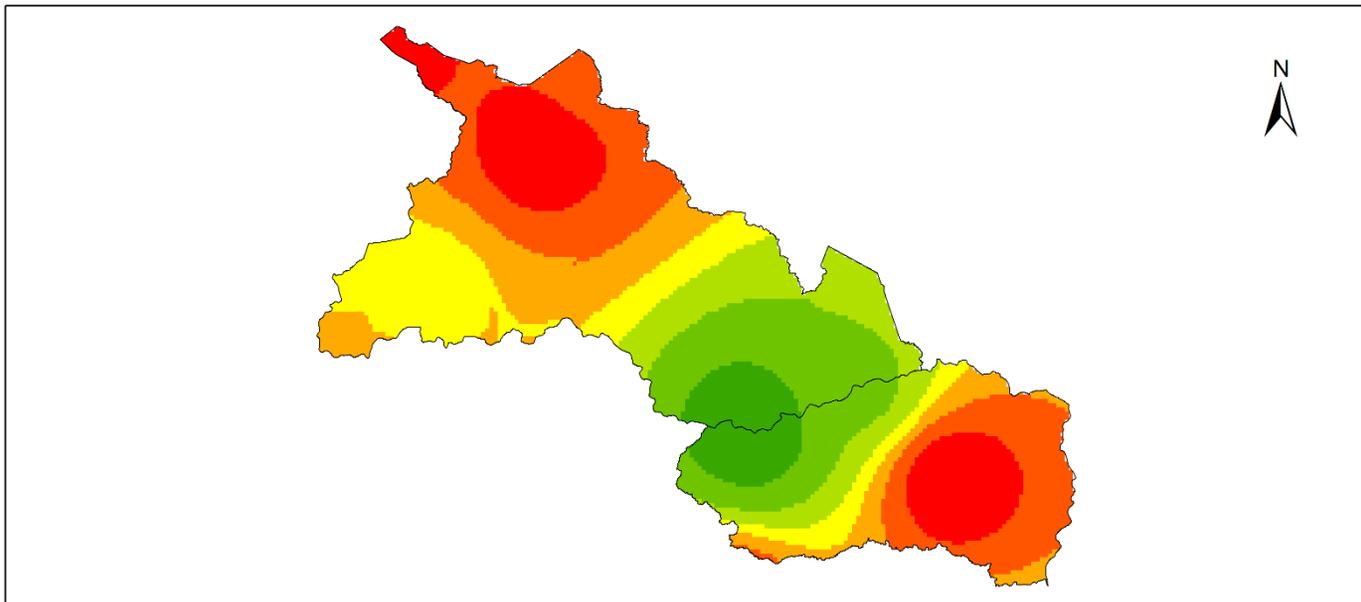


Figura 58. Mapa de humedad relativa, zona norte, 2013

Mapa de Humedad Relativa
Zona Norte
Año 2014



0 5 10 20 30 Km

1:700,000

Leyenda

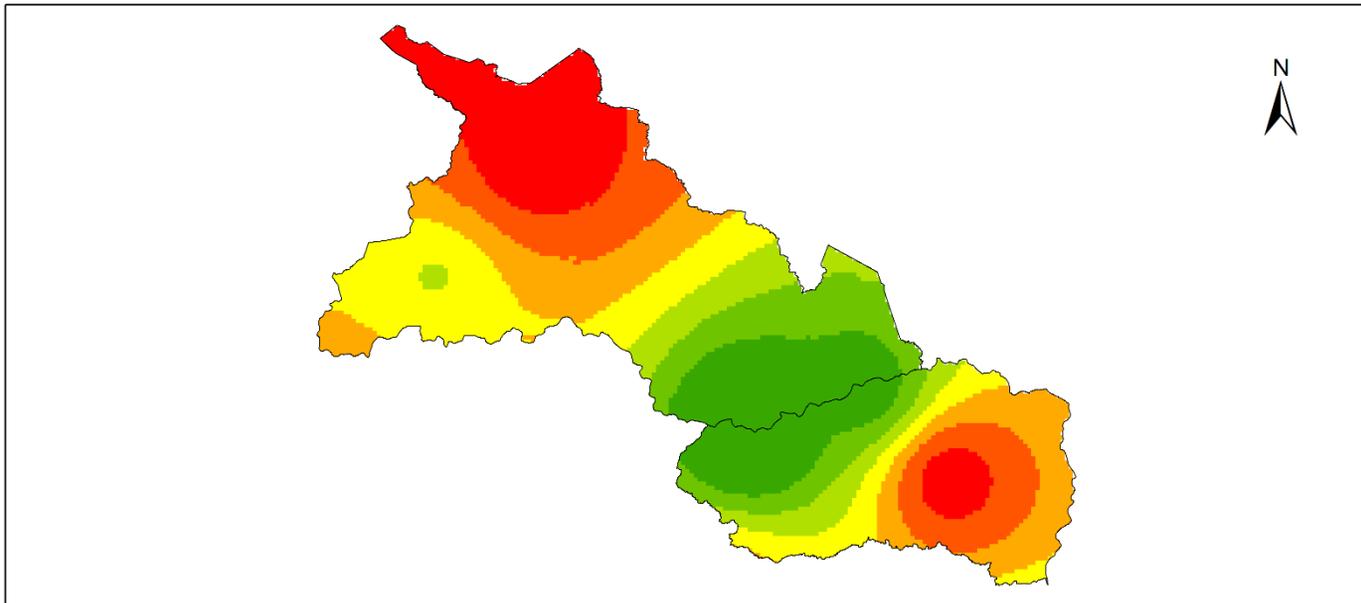
	Límite Departamental		79.15702225 - 80.41734748
Humedad Relativa 2014 (%)			80.41734749 - 81.91398369
	68.20794678 - 73.64309935		81.9139837 - 83.9620122
	73.64309936 - 77.26653439		83.96201221 - 88.29438019
	77.2665344 - 79.15702224		

Fuente: Elaboración propia con registro de humedad relativa promedio mensual de base de datos proporcionada por el Observatorio Ambiental, del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN)
Periodo de estudio: Mayo - Octubre 2014.

Capa Límite Departamental del Centro Nacional de Registros (CNR)
<http://www.cnr.gob.sv/geoportal-cnr/>

Figura 59. Mapa de humedad relativa, zona norte, 2014

Mapa de Humedad Relativa
Zona Norte
Año 2015



0 5 10 20 30 Km
1:700,000

Leyenda

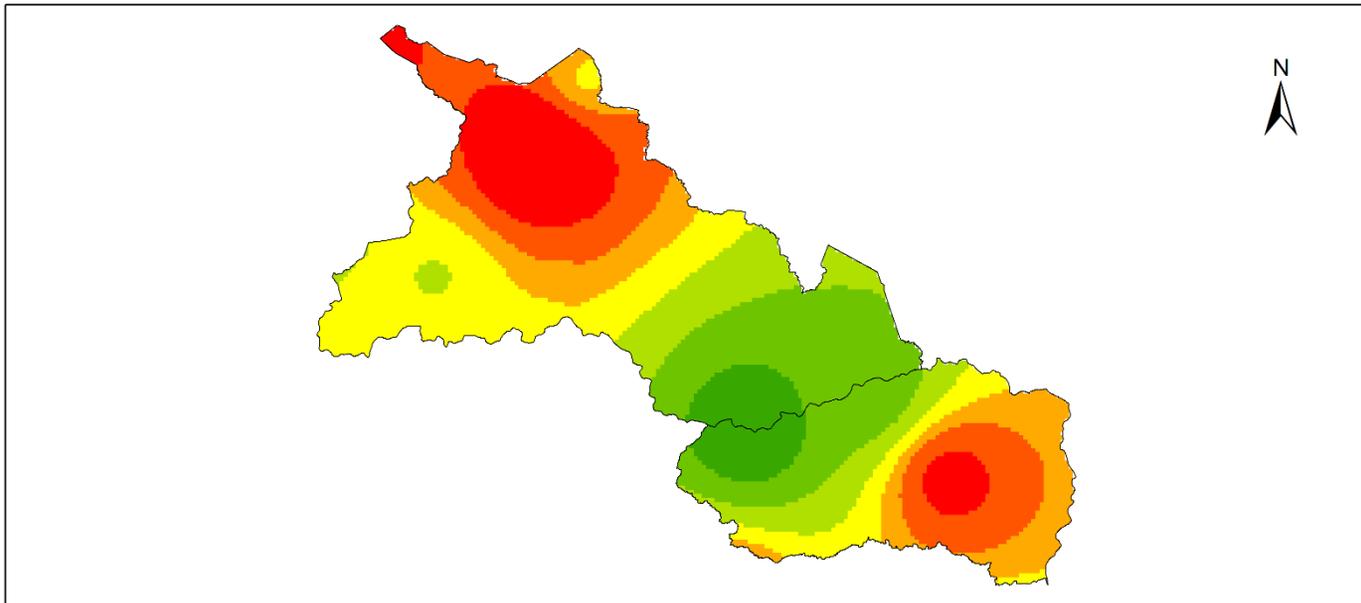
	Límite Departamental		76.64553224 - 78.43926086
Humedad Relativa 2015 (%)			78.43926087 - 80.31840515
	67.50605774 - 73.05807495		80.31840516 - 82.71004333
	73.05807496 - 74.93721924		82.71004334 - 89.28704834
	74.93721925 - 76.64553223		

Fuente: Elaboración propia con registro de humedad relativa promedio mensual de base de datos proporcionada por el Observatorio Ambiental, del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN)
Periodo de estudio: Mayo - Octubre 2015.

Capa Limite Departamental del Centro Nacional de Registros (CNR)
<http://www.cnr.gob.sv/geoportal-cnr/>

Figura 60. Mapa de humedad relativa, zona norte, 2015

Mapa de Humedad Relativa
Zona Norte
Año 2016



0 5 10 20 30 Km
1:700,000

Leyenda

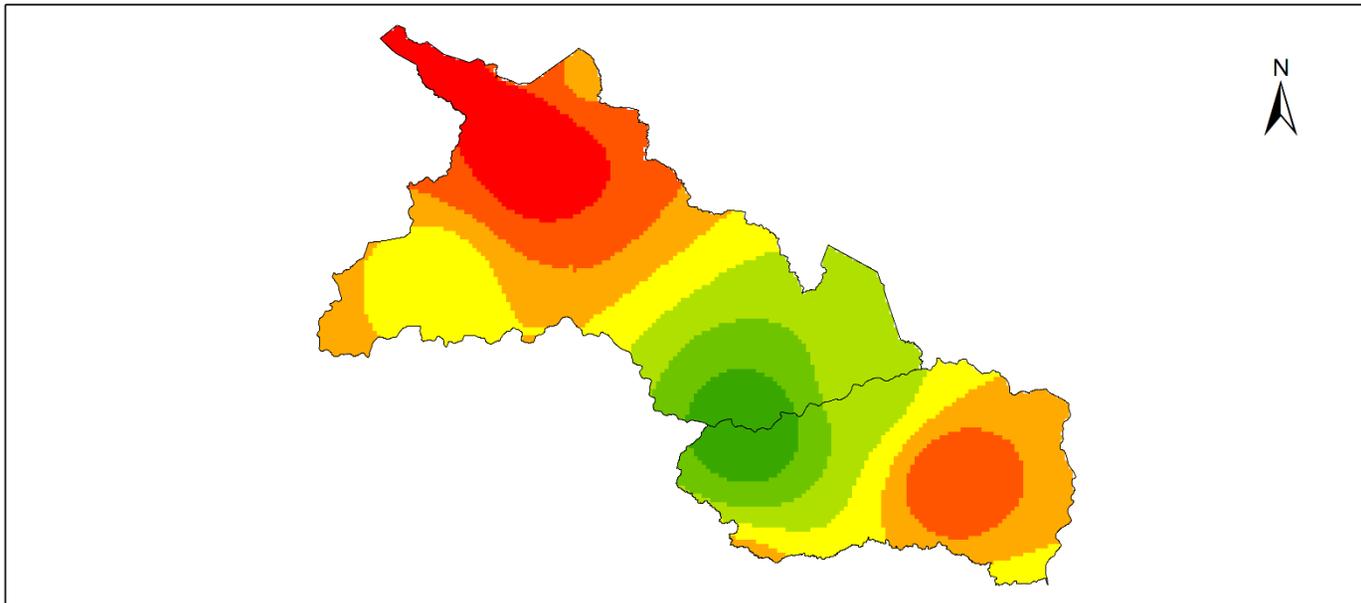
	Límite Departamental		78.35663453 - 80.44743805
Humedad Relativa 2016 (%)			80.44743806 - 82.23955536
	66.80743408 - 71.68597565		82.23955537 - 84.82816925
	71.68597566 - 75.46933441		84.82816926 - 92.19576263
	75.46933442 - 78.35663452		

Fuente: Elaboración propia con registro de humedad relativa promedio mensual de base de datos proporcionada por el Observatorio Ambiental, del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN)
Periodo de estudio: Mayo - Octubre 2016.

Capa Límite Departamental del Centro Nacional de Registros (CNR)
<http://www.cnr.gob.sv/geoportal-cnr/>

Figura 61. Mapa de humedad relativa, zona norte, 2016

Mapa de Humedad Relativa
Zona Norte
Año 2017



0 5 10 20 30 Km
1:700,000

Leyenda

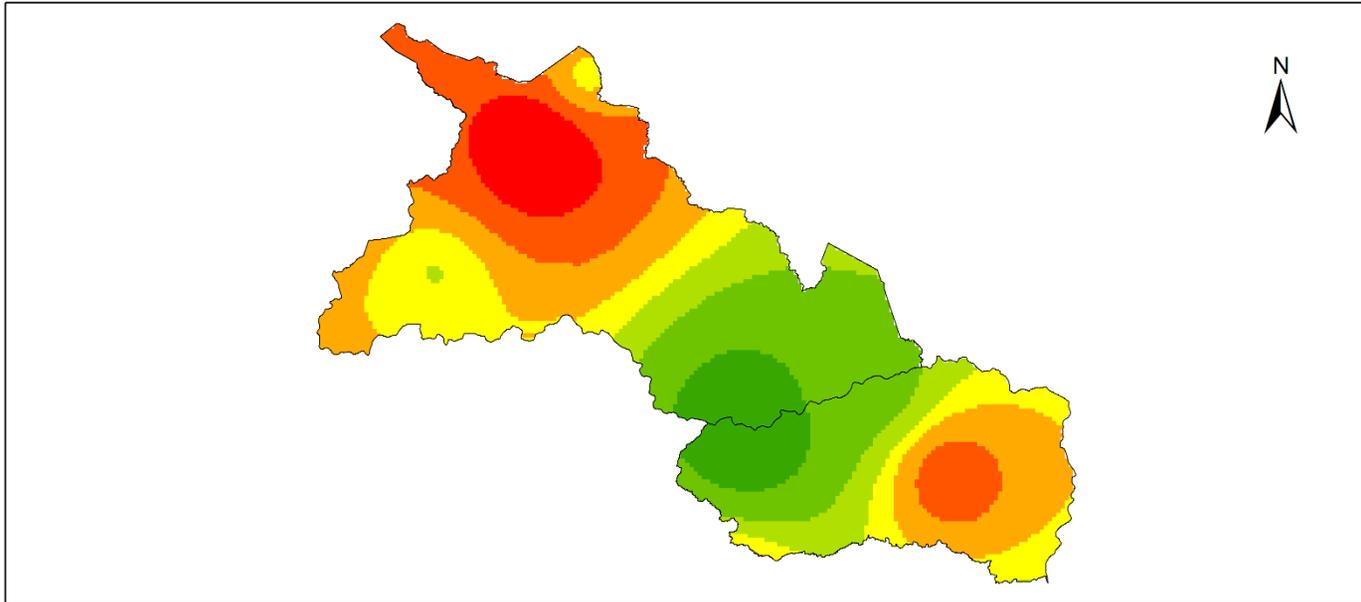
	Límite Departamental		81.06988326 - 83.15236999
	Humedad Relativa 2017 (%)		83.15237 - 84.96322802
	69.20876312 - 74.64133723		84.96322803 - 87.67951508
	74.64133724 - 78.4441391		87.67951509 - 92.29720306
	78.44413911 - 81.06988325		

Fuente: Elaboración propia con registro de humedad relativa promedio mensual de base de datos proporcionada por el Observatorio Ambiental, del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN)
Periodo de estudio: Mayo - Octubre 2017.

Capa Límite Departamental del Centro Nacional de Registros (CNR)
<http://www.cnr.gob.sv/geoportal-cnr/>

Figura 62. Mapa de humedad relativa, zona norte, 2017

Mapa de Humedad Relativa
Zona Norte
Año 2018



0 5 10 20 30 Km
1:700,000

Leyenda

	Límite Departamental		80.55244192 - 82.05760701
	Humedad Relativa 2018 (%)		82.05760702 - 84.16483816
	67.70836639 - 74.43143717		84.16483817 - 87.57654572
	74.43143718 - 78.54555511		87.57654573 - 93.2961731
	78.54555512 - 80.55244191		

Fuente: Elaboración propia con registro de humedad relativa promedio mensual de base de datos proporcionada por el Observatorio Ambiental, del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN)
Periodo de estudio: Mayo - Octubre 2018.

Capa Límite Departamental del Centro Nacional de Registros (CNR)
<http://www.cnr.gob.sv/geoportal-cnr/>

Figura 63. Mapa de humedad relativa, zona norte, 2018

3.3.4 Análisis de correlación, zona norte

Correlación bivariada arroz 2013, zona norte					
		Área estimada cultivo arroz, zona norte 2013	Precipitación 2013	Temperatura 2013	Humedad relativa 2013
Área estimada cultivo arroz, zona norte 2013	Correlación de Pearson	1	-.112**	.154**	0.002
	Sig. (bilateral)		0.000	0.000	0.920
	N	1878	1878	1878	1878
Precipitación 2013	Correlación de Pearson	-.112**	1	-.784**	-.360**
	Sig. (bilateral)	0.000		0.000	0.000
	N	1878	1878	1878	1878
Temperatura 2013	Correlación de Pearson	.154**	-.784**	1	-.101**
	Sig. (bilateral)	0.000	0.000		0.000
	N	1878	1878	1878	1878
Humedad relativa 2013	Correlación de Pearson	0.002	-.360**	-.101**	1
	Sig. (bilateral)	0.920	0.000	0.000	
	N	1878	1878	1878	1878
**. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).					

Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la interpolación.

Tabla 47. Correlación bivariada arroz 2013, zona norte

Correlación bivariada maíz 2013, zona norte					
		Área estimada cultivo maíz, zona norte 2013	Precipitación 2013	Temperatura 2013	Humedad relativa 2013
Área estimada cultivo maíz, zona norte 2013	Correlación de Pearson	1	.089**	.147**	.143**
	Sig. (bilateral)		0.000	0.000	0.000
	N	257185	257185	257185	257185
Precipitación 2013	Correlación de Pearson	.089**	1	-.080**	.644**
	Sig. (bilateral)	0.000		0.000	0.000
	N	257185	257185	257185	257185
Temperatura 2013	Correlación de Pearson	.147**	-.080**	1	-.321**
	Sig. (bilateral)	0.000	0.000		0.000
	N	257185	257185	257185	257185
Humedad relativa 2013	Correlación de Pearson	.143**	.644**	-.321**	1
	Sig. (bilateral)	0.000	0.000	0.000	
	N	257185	257185	257185	257185
**. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).					

Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la interpolación.

Tabla 48. Correlación bivariada maíz 2013, zona norte

Correlación bivariada arroz 2014, zona norte					
		Área estimada cultivo arroz, zona norte 2014	Precipitación 2014	Temperatura 2014	Humedad relativa 2014
Área estimada cultivo arroz, zona norte 2014	Correlación de Pearson	1	.199**	-.218**	-.080**
	Sig. (bilateral)		0.000	0.000	0.000
	N	8844	8844	8844	8844
Precipitación 2014	Correlación de Pearson	.199**	1	-.980**	-.183**
	Sig. (bilateral)	0.000		0.000	0.000
	N	8844	8844	8844	8844
Temperatura 2014	Correlación de Pearson	-.218**	-.980**	1	.277**
	Sig. (bilateral)	0.000	0.000		0.000
	N	8844	8844	8844	8844
Humedad relativa 2014	Correlación de Pearson	-.080**	-.183**	.277**	1
	Sig. (bilateral)	0.000	0.000	0.000	
	N	8844	8844	8844	8844

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la interpolación.

Tabla 49. Correlación bivariada arroz 2014, zona norte

Correlación bivariada maíz 2014, zona norte					
		Área estimada cultivo maíz, zona norte 2014	Precipitación 2014	Temperatura 2014	Humedad relativa 2014
Área estimada cultivo maíz, zona norte 2014	Correlación de Pearson	1	.227**	-.077**	.277**
	Sig. (bilateral)		0.000	0.000	0.000
	N	317583	317583	317583	317583
Precipitación 2014	Correlación de Pearson	.227**	1	-.554**	.491**
	Sig. (bilateral)	0.000		0.000	0.000
	N	317583	317583	317583	317583
Temperatura 2014	Correlación de Pearson	-.077**	-.554**	1	-.346**
	Sig. (bilateral)	0.000	0.000		0.000
	N	317583	317583	317583	317583
Humedad relativa 2014	Correlación de Pearson	.277**	.491**	-.346**	1
	Sig. (bilateral)	0.000	0.000	0.000	
	N	317583	317583	317583	317583

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la interpolación.

Tabla 50. Correlación bivariada maíz 2014, zona norte

Correlación bivariada arroz 2015, zona norte					
		Área estimada cultivo arroz, zona norte 2015	Precipitación 2015	Temperatura 2015	Humedad relativa 2015
Área estimada cultivo arroz, zona norte 2015	Correlación de Pearson	1	.114**	-.152**	.088**
	Sig. (bilateral)		0.000	0.000	0.000
	N	3610	3610	3610	3610
Precipitación 2015	Correlación de Pearson	.114**	1	-.911**	-.256**
	Sig. (bilateral)	0.000		0.000	0.000
	N	3610	3610	3610	3610
Temperatura 2015	Correlación de Pearson	-.152**	-.911**	1	-.095**
	Sig. (bilateral)	0.000	0.000		0.000
	N	3610	3610	3610	3610
Humedad relativa 2015	Correlación de Pearson	.088**	-.256**	-.095**	1
	Sig. (bilateral)	0.000	0.000	0.000	
	N	3610	3610	3610	3610

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la interpolación.

Tabla 51. Correlación bivariada arroz 2015, zona norte

Correlación bivariada maíz 2015, zona norte					
		Área estimada cultivo maíz, zona norte 2015	Precipitación 2015	Temperatura 2015	Humedad relativa 2015
Área estimada cultivo maíz, zona norte 2015	Correlación de Pearson	1	-.106**	.153**	-.183**
	Sig. (bilateral)		0.000	0.000	0.000
	N	393972	393972	393972	393972
Precipitación 2015	Correlación de Pearson	-.106**	1	-.584**	.297**
	Sig. (bilateral)	0.000		0.000	0.000
	N	393972	393972	393972	393972
Temperatura 2015	Correlación de Pearson	.153**	-.584**	1	-.560**
	Sig. (bilateral)	0.000	0.000		0.000
	N	393972	393972	393972	393972
Humedad relativa 2015	Correlación de Pearson	-.183**	.297**	-.560**	1
	Sig. (bilateral)	0.000	0.000	0.000	
	N	393972	393972	393972	393972

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la interpolación.

Tabla 52. Correlación bivariada maíz 2015, zona norte

Correlación bivariada arroz 2016, zona norte					
		Área estimada cultivo arroz, zona norte 2016	Precipitación 2016	Temperatura 2016	Humedad relativa 2016
Área estimada cultivo arroz, zona norte 2016	Correlación de Pearson	1	-.064**	-.053**	.106**
	Sig. (bilateral)		0.000	0.000	0.000
	N	9704	9704	9704	9704
Precipitación 2016	Correlación de Pearson	-.064**	1	-.881**	-.428**
	Sig. (bilateral)	0.000		0.000	0.000
	N	9704	9704	9704	9704
Temperatura 2016	Correlación de Pearson	-.053**	-.881**	1	.168**
	Sig. (bilateral)	0.000	0.000		0.000
	N	9704	9704	9704	9704
Humedad relativa 2016	Correlación de Pearson	.106**	-.428**	.168**	1
	Sig. (bilateral)	0.000	0.000	0.000	
	N	9704	9704	9704	9704

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la interpolación.

Tabla 53. Correlación bivariada arroz 2016, zona norte

Correlación bivariada maíz 2016, zona norte					
		Área estimada cultivo maíz, zona norte 2016	Precipitación 2016	Temperatura 2016	Humedad relativa 2016
Área estimada cultivo maíz, zona norte 2016	Correlación de Pearson	1	.151**	.148**	.115**
	Sig. (bilateral)		0.000	0.000	0.000
	N	286320	286320	286320	286320
Precipitación 2016	Correlación de Pearson	.151**	1	-.151**	.391**
	Sig. (bilateral)	0.000		0.000	0.000
	N	286320	286320	286320	286320
Temperatura 2016	Correlación de Pearson	.148**	-.151**	1	-.334**
	Sig. (bilateral)	0.000	0.000		0.000
	N	286320	286320	286320	286320
Humedad relativa 2016	Correlación de Pearson	.115**	.391**	-.334**	1
	Sig. (bilateral)	0.000	0.000	0.000	
	N	286320	286320	286320	286320

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la interpolación.

Tabla 54. Correlación bivariada maíz 2016, zona norte

Correlación bivariada arroz 2017, zona norte					
		Área estimada cultivo arroz, zona norte 2017	Precipitación 2017	Temperatura 2017	Humedad relativa 2017
Área estimada cultivo arroz, zona norte 2017	Correlación de Pearson	1	-0.004	-.078**	.017*
	Sig. (bilateral)		0.618	0.000	0.032
	N	15139	15139	15139	15139
Precipitación 2017	Correlación de Pearson	-0.004	1	-.748**	-.500**
	Sig. (bilateral)	0.618		0.000	0.000
	N	15139	15139	15139	15139
Temperatura 2017	Correlación de Pearson	-.078**	-.748**	1	.074**
	Sig. (bilateral)	0.000	0.000		0.000
	N	15139	15139	15139	15139
Humedad relativa 2017	Correlación de Pearson	.017*	-.500**	.074**	1
	Sig. (bilateral)	0.032	0.000	0.000	
	N	15139	15139	15139	15139
**. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).					
*. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).					

Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la interpolación.

Tabla 55. Correlación bivariada arroz 2017, zona norte

Correlación bivariada maíz 2017, zona norte					
		Área estimada cultivo maíz, zona norte 2017	Precipitación 2017	Temperatura 2017	Humedad relativa 2017
Área estimada cultivo maíz, zona norte 2017	Correlación de Pearson	1	-.275**	.311**	-.012**
	Sig. (bilateral)		0.000	0.000	0.000
	N	278537	278537	278537	278537
Precipitación 2017	Correlación de Pearson	-.275**	1	-.622**	.144**
	Sig. (bilateral)	0.000		0.000	0.000
	N	278537	278537	278537	278537
Temperatura 2017	Correlación de Pearson	.311**	-.622**	1	-.488**
	Sig. (bilateral)	0.000	0.000		0.000
	N	278537	278537	278537	278537
Humedad relativa 2017	Correlación de Pearson	-.012**	.144**	-.488**	1
	Sig. (bilateral)	0.000	0.000	0.000	
	N	278537	278537	278537	278537
**. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).					

Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la interpolación.

Tabla 56. Correlación bivariada maíz 2017, zona norte

Correlación bivariada arroz 2018, zona norte					
		Área estimada cultivo arroz, zona norte 2018	Precipitación 2018	Temperatura 2018	Humedad relativa 2018
Área estimada cultivo arroz, zona norte 2018	Correlación de Pearson	1	-.020**	-.023**	.068**
	Sig. (bilateral)		0.003	0.000	0.000
	N	22914	22914	22914	22914
Precipitación 2018	Correlación de Pearson	-.020**	1	-.702**	-.322**
	Sig. (bilateral)	0.003		0.000	0.000
	N	22914	22914	22914	22914
Temperatura 2018	Correlación de Pearson	-.023**	-.702**	1	.136**
	Sig. (bilateral)	0.000	0.000		0.000
	N	22914	22914	22914	22914
Humedad relativa 2018	Correlación de Pearson	.068**	-.322**	.136**	1
	Sig. (bilateral)	0.000	0.000	0.000	
	N	22914	22914	22914	22914
**. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).					

Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la interpolación.

Tabla 57. Correlación bivariada arroz 2018, zona norte

Correlación bivariada maíz 2018, zona norte					
		Área estimada cultivo maíz, zona norte 2018	Precipitación 2018	Temperatura 2018	Humedad relativa 2018
Área estimada cultivo maíz, zona norte 2018	Correlación de Pearson	1	.010**	.041**	.059**
	Sig. (bilateral)		0.000	0.000	0.000
	N	251650	251650	251650	251650
Precipitación 2018	Correlación de Pearson	.010**	1	-.422**	.106**
	Sig. (bilateral)	0.000		0.000	0.000
	N	251650	251650	251650	251650
Temperatura 2018	Correlación de Pearson	.041**	-.422**	1	-.455**
	Sig. (bilateral)	0.000	0.000		0.000
	N	251650	251650	251650	251650
Humedad relativa 2018	Correlación de Pearson	.059**	.106**	-.455**	1
	Sig. (bilateral)	0.000	0.000	0.000	
	N	251650	251650	251650	251650
**. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).					

Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la interpolación.

Tabla 58. Correlación bivariada maíz 2018, zona norte

Para la base de datos del cultivo de arroz, en el año 2013 se obtuvieron dos correlaciones en un nivel de significatividad de 0.01, entre el área estimada del cultivo y la precipitación ($R = -0.112$) y entre dicha área y la temperatura ($R = 0.154$); sin embargo, hubo una correlación con un coeficiente $R = 0.002$ sin nivel significativo entre el área del cultivo y la humedad relativa. Por otra parte, se determinaron correlaciones significativas en nivel 0.01 entre los parámetros ambientales incluidos en la investigación; que son: precipitación y temperatura ($R = -0.784$), temperatura y humedad relativa ($R = -0.101$), precipitación y humedad relativa ($R = -0.360$). Posteriormente en el año 2017, siempre para el cultivo de arroz, se obtuvo una correlación de tipo inversa sin nivel de significatividad, que fue entre el área estimada del cultivo y la precipitación con un $R = -0.004$. En el caso de los parámetros temperatura y humedad relativa, tuvieron correlación con el área estimada del cultivo de $R = -0.078$ (significativo en nivel 0.01) y $R = 0.017$ (significatividad nivel 0.05), respectivamente. Por su parte, los parámetros ambientales tuvieron coeficientes de correlación, según el siguiente detalle: precipitación y temperatura ($R = -0.748$), temperatura y humedad relativa ($R = 0.074$), precipitación y humedad relativa ($R = -0.500$); las tres relaciones significativas en nivel 0.01. De las tres correlaciones entre parámetros, el $R = 0.074$ fue el único coeficiente que presentó un comportamiento irregular, pues en general, la temperatura tiende a poseer una correlación de tipo inversa con la humedad relativa.

En el año 2017 para la base de datos de maíz, se identificaron dos de los tres coeficientes de correlación más altos de todo el periodo de estudio, en cuanto a la relación entre el área estimada del cultivo con dos parámetros: precipitación ($R = -0.275$) y temperatura ($R = 0.311$). Adicionalmente, el área de maíz tuvo un $R = -0.012$ con la humedad relativa. En los tres casos, se determinó significatividad en nivel 0.01. Para el año 2018, el área estimada de maíz presentó los coeficientes de correlación más bajo del periodo 2013-2018 con los parámetros: precipitación ($R = 0.010$), temperatura ($R = 0.041$) y humedad relativa ($R = 0.059$); con nivel significativo de 0.01.

Tanto para el año 2017 como para 2018 para el cultivo de maíz, hubo una correlación de tipo inversa entre precipitación y temperatura, además de temperatura y humedad relativa. Se identificó correlación de tipo directa entre precipitación y humedad relativa.

3.3.5 Modelos de regresión lineal, zona norte

2013

Arroz

Modelo de regresión lineal arroz 2013, zona norte				
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	.160 ^a	0.026	0.024	0.90205

a. Predictores: (Constante), Humedad relativa 2013, Temperatura 2013, Precipitación 2013

Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la interpolación.

Tabla 59. Resumen modelo de regresión lineal arroz 2013, zona norte

ANOVA ^a						
Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	40.059	3	13.353	16.410	.000 ^b
	Residuo	1524.871	1874	0.814		
	Total	1564.930	1877			

a. Variable dependiente: Área estimada cultivo arroz, zona norte 2013

b. Predictores: (Constante), Humedad relativa 2013, Temperatura 2013, Precipitación 2013

Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la interpolación.

Tabla 60. Análisis de varianza, modelo de regresión lineal arroz 2013, zona norte

Maíz

Modelo de regresión lineal maíz 2013, zona norte				
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	.252 ^a	0.064	0.064	40.37907

a. Predictores: (Constante), Humedad relativa 2013, Temperatura 2013, Precipitación 2013

Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la interpolación.

Tabla 61. Resumen modelo de regresión lineal maíz 2013, zona norte

ANOVA ^a						
Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	28440623.315	3	9480207.772	5814.405	.000 ^b
	Residuo	419325706.733	257181	1630.469		
	Total	447766330.048	257184			

a. Variable dependiente: Área estimada cultivo maíz, zona norte 2013

b. Predictores: (Constante), Humedad relativa 2013, Temperatura 2013, Precipitación 2013

Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la interpolación.

Tabla 62. Análisis de varianza, modelo de regresión lineal maíz 2013, zona norte

2014

Arroz

Modelo de regresión lineal arroz 2014, zona norte				
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	.230 ^a	0.053	0.053	6.08669
a. Predictores: (Constante), Humedad relativa 2014, Precipitación 2014, Temperatura 2014				

Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la interpolación.

Tabla 63. Resumen modelo de regresión lineal arroz 2014, zona norte

ANOVA ^a						
Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	18344.660	3	6114.887	165.054	.000 ^b
	Residuo	327502.197	8840	37.048		
	Total	345846.857	8843			
a. Variable dependiente: Área estimada cultivo arroz, zona norte 2014						
b. Predictores: (Constante), Humedad relativa 2014, Precipitación 2014, Temperatura 2014						

Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la interpolación.

Tabla 64. Análisis de varianza, modelo de regresión lineal arroz 2014, zona norte

Maíz

Modelo de regresión lineal maíz 2014, zona norte				
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	.306 ^a	0.094	0.094	148.06847
a. Predictores: (Constante), Humedad relativa 2014, Temperatura 2014, Precipitación 2014				

Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la interpolación.

Tabla 65. Resumen modelo de regresión lineal maíz 2014, zona norte

ANOVA ^a						
Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	720518284.028	3	240172761.343	10954.651	.000 ^b
	Residuo	6962688545.701	317579	21924.273		
	Total	7683206829.729	317582			
a. Variable dependiente: Área estimada cultivo maíz, zona norte 2014						
b. Predictores: (Constante), Humedad relativa 2014, Temperatura 2014, Precipitación 2014						

Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la interpolación.

Tabla 66. Análisis de varianza, modelo de regresión lineal maíz 2014, zona norte

2015

Arroz

Modelo de regresión lineal arroz 2015, zona norte				
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	.169 ^a	0.029	0.028	3.09569
a. Predictores: (Constante), Humedad relativa 2015, Temperatura 2015, Precipitación 2015				

Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la interpolación.

Tabla 67. Resumen modelo de regresión lineal arroz 2015, zona norte

ANOVA ^a						
Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	1018.018	3	339.339	35.409	.000 ^b
	Residuo	34557.383	3606	9.583		
	Total	35575.401	3609			
a. Variable dependiente: Área estimada cultivo arroz, zona norte 2015						
b. Predictores: (Constante), Humedad relativa 2015, Temperatura 2015, Precipitación 2015						

Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la interpolación.

Tabla 68. Análisis de varianza, modelo de regresión lineal arroz 2015, zona norte

Maíz

Modelo de regresión lineal maíz 2015, zona norte				
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	.194 ^a	0.038	0.038	160.63971
a. Predictores: (Constante), Humedad relativa 2015, Precipitación 2015, Temperatura 2015				

Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la interpolación.

Tabla 69. Resumen modelo de regresión lineal maíz 2015, zona norte

ANOVA ^a						
Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	399332966.279	3	133110988.760	5158.317	.000 ^b
	Residuo	10166390705.583	393968	25805.118		
	Total	10565723671.863	393971			
a. Variable dependiente: Área estimada cultivo maíz, zona norte 2015						
b. Predictores: (Constante), Humedad relativa 2015, Precipitación 2015, Temperatura 2015						

Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la interpolación.

Tabla 70. Análisis de varianza, modelo de regresión lineal maíz 2015, zona norte

2016

Arroz

Modelo de regresión lineal arroz 2016, zona norte				
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	.241 ^a	0.058	0.058	8.53187
a. Predictores: (Constante), Humedad relativa 2016, Temperatura 2016, Precipitación 2016				

Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la interpolación.

Tabla 71. Resumen modelo de regresión lineal arroz 2016, zona norte

ANOVA ^a						
Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	43629.485	3	14543.162	199.788	.000 ^b
	Residuo	706090.804	9700	72.793		
	Total	749720.289	9703			
a. Variable dependiente: Área estimada cultivo arroz, zona norte 2016						
b. Predictores: (Constante), Humedad relativa 2016, Temperatura 2016, Precipitación 2016						

Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la interpolación.

Tabla 72. Análisis de varianza, modelo de regresión lineal arroz 2016, zona norte

Maíz

Modelo de regresión lineal maíz 2016, zona norte				
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	.258 ^a	0.067	0.067	52.11614
a. Predictores: (Constante), Humedad relativa 2016, Temperatura 2016, Precipitación 2016				

Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la interpolación.

Tabla 73. Resumen modelo de regresión lineal maíz 2016, zona norte

ANOVA ^a						
Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	55457452.927	3	18485817.642	6806.034	.000 ^b
	Residuo	777660758.019	286316	2716.093		
	Total	833118210.946	286319			
a. Variable dependiente: Área estimada cultivo maíz, zona norte 2016						
b. Predictores: (Constante), Humedad relativa 2016, Temperatura 2016, Precipitación 2016						

Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la interpolación.

Tabla 74. Análisis de varianza, modelo de regresión lineal maíz 2016, zona norte

2017

Arroz

Modelo de regresión lineal arroz 2017, zona norte				
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	.133 ^a	0.018	0.018	8.85308
a. Predictores: (Constante), Humedad relativa 2017, Temperatura 2017, Precipitación 2017				

Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la interpolación.

Tabla 75. Resumen modelo de regresión lineal arroz 2017, zona norte

ANOVA^a						
Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	21457.737	3	7152.579	91.259	.000 ^b
	Residuo	1186236.038	15135	78.377		
	Total	1207693.775	15138			
a. Variable dependiente: Área estimada cultivo arroz, zona norte 2017						
b. Predictores: (Constante), Humedad relativa 2017, Temperatura 2017, Precipitación 2017						

Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la interpolación.

Tabla 76. Análisis de varianza, modelo de regresión lineal arroz 2017, zona norte

Maíz

Modelo de regresión lineal maíz 2017, zona norte				
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	.357 ^a	0.127	0.127	62.89256
a. Predictores: (Constante), Humedad relativa 2017, Precipitación 2017, Temperatura 2017				

Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la interpolación.

Tabla 77. Resumen modelo de regresión lineal maíz 2017, zona norte

ANOVA^a						
Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	160435463.998	3	53478487.999	13520.120	.000 ^b
	Residuo	1101730162.363	278533	3955.474		
	Total	1262165626.361	278536			
a. Variable dependiente: Área estimada cultivo maíz, zona norte 2017						
b. Predictores: (Constante), Humedad relativa 2017, Precipitación 2017, Temperatura 2017						

Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la interpolación.

Tabla 78. Análisis de varianza, modelo de regresión lineal maíz 2017, zona norte

2018

Arroz

Modelo de regresión lineal arroz 2018, zona norte				
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	.081 ^a	0.007	0.006	11.18928
a. Predictores: (Constante), Humedad relativa 2018, Temperatura 2018, Precipitación 2018				

Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la interpolación.

Tabla 79. Resumen modelo de regresión lineal arroz 2018, zona norte

ANOVA^a						
Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	18789.860	3	6263.287	50.026	.000 ^b
	Residuo	2868332.359	22910	125.200		
	Total	2887122.219	22913			
a. Variable dependiente: Área estimada cultivo arroz, zona norte 2018						
b. Predictores: (Constante), Humedad relativa 2018, Temperatura 2018, Precipitación 2018						

Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la interpolación.

Tabla 80. Análisis de varianza, modelo de regresión lineal arroz 2018, zona norte

Maíz

Modelo de regresión lineal maíz 2018, zona norte				
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	.105 ^a	0.011	0.011	7.37304
a. Predictores: (Constante), Humedad relativa 2018, Precipitación 2018, Temperatura 2018				

Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la interpolación.

Tabla 81. Resumen modelo de regresión lineal maíz 2018, zona norte

ANOVA^a						
Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	152476.853	3	50825.618	934.953	.000 ^b
	Residuo	13679904.093	251646	54.362		
	Total	13832380.946	251649			
a. Variable dependiente: Área estimada cultivo maíz, zona norte 2018						
b. Predictores: (Constante), Humedad relativa 2018, Precipitación 2018, Temperatura 2018						

Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la interpolación.

Tabla 82. Análisis de varianza, modelo de regresión lineal maíz 2018, zona norte

Resumen modelos regresión lineal arroz 2013-2018, zona norte				
Año	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Sig
2013	.160	0.026	0.024	.000
2014	.230	0.053	0.053	.000
2015	.169	0.029	0.028	.000
2016	.241	0.058	0.058	.000
2017	.133	0.018	0.018	.000
2018	.081	0.007	0.006	.000

Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la interpolación.
 Tabla 83. Resumen de modelos de regresión lineal arroz 2013-2018, zona norte

Los modelos de regresión lineal obtenidos para las bases de datos del cultivo de arroz para cada año poseen coeficientes de correlación entre $R = 0.081$ (año 2018) y $R = 0.241$ (año 2016); por lo que se obtuvieron coeficientes de determinación ajustados R^2 ajustados de 0.006 y 0.058 respectivamente. En el caso de los coeficientes de correlación de los modelos, tienen su respectiva explicación en el análisis de correlación bivariada (efectuado en el apartado anterior), entre las variables incluidas: área estimada del cultivo y los parámetros ambientales.

Resumen modelos regresión lineal maíz 2013-2018, zona norte				
Año	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Sig
2013	.252	0.064	0.064	.000
2014	.306	0.094	0.094	.000
2015	.194	0.038	0.038	.000
2016	.258	0.067	0.067	.000
2017	.357	0.127	0.127	.000
2018	.105	0.011	0.011	.000

Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la interpolación.
 Tabla 84. Resumen de modelos de regresión lineal maíz 2013-2018, zona norte

Al ejecutar los modelos de regresión lineal con las bases de datos del cultivo de maíz para cada año, se identificaron coeficientes de correlación mayores a los obtenidos con la base de datos del cultivo de arroz. En el caso del maíz, los coeficientes de correlación de los modelos se encontraron entre $R = 0.105$ (año 2018) y $R = 0.357$ (año 2017); y en consecuencia, coeficientes de determinación ajustados entre 0.011 y 0.127 respectivamente.

3.3.6 Análisis de variación de parámetros ambientales, áreas y precios del maíz y arroz, zona norte

Arroz

Año	Área total (ha)	Variación área total	T° promedio estimada	Variación T° promedio	HR% promedio estimada	Variación HR% promedio	Precipitación promedio acum.	Variación precipitación promedio acum.	Precio prom. Mayorista (USD/qq)	Variación precio prom. mayorista	Precio prom. Consumidor (USD/lb)	Variación precio prom. Consumidor
2013	194.76		22.25		80.86		2,085.02		\$38.05		\$0.47	
2014	921.61	373.20%	22.85	2.72%	78.25	-3.23%	2,001.88	-3.99%	\$40.44	6.28%	\$0.50	6.38%
2015	455.52	-50.57%	23.10	1.07%	78.40	0.19%	1,623.32	-18.91%	\$38.26	-5.39%	\$0.47	-6.00%
2016	1,073.64	135.69%	22.95	-0.65%	79.51	1.41%	1,470.00	-9.45%	\$36.80	-3.82%	\$0.45	-4.26%
2017	1,711.23	59.39%	22.70	-1.09%	80.76	1.57%	2,040.22	38.79%	\$35.40	-3.80%	\$0.45	0.00%
2018	2,130.28	24.49%	22.65	-0.22%	80.51	-0.31%	1,924.97	-5.65%	\$35.84	1.23%	\$0.45	0.00%

Fuente: elaboración propia a partir de los datos del MARN y de los anuarios de estadísticas de la DGEA

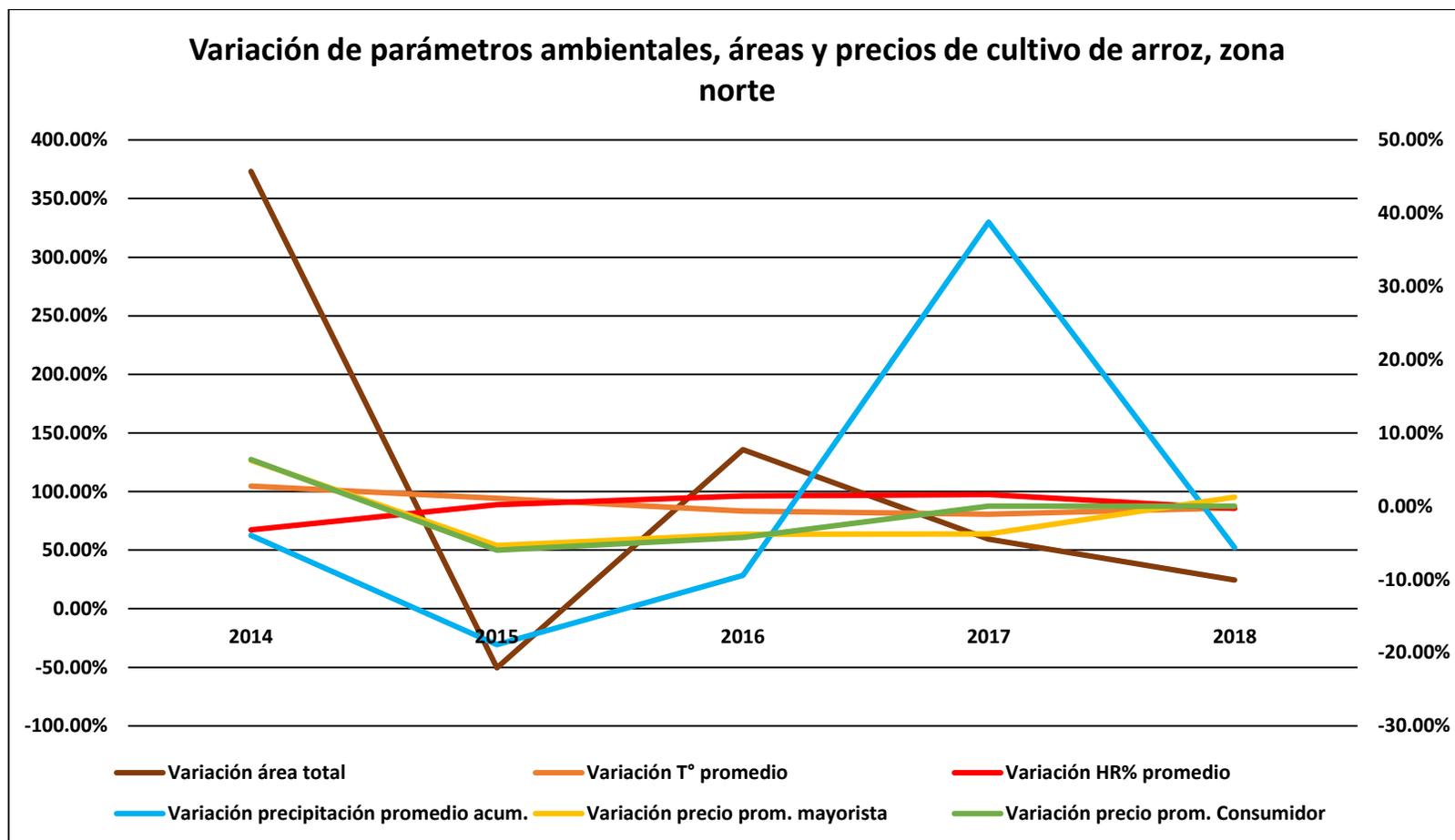
Tabla 85. Variación de parámetros ambientales, área y precio del arroz, zona norte

Maíz

Año	Área total (ha)	Variación área total	T° promedio estimada	Variación T° promedio	HR% promedio estimada	Variación HR% promedio	Precipitación promedio acum.	Variación precipitación promedio acum.	Precio prom. mayorista (USD/qq)	Variación precio prom. mayorista	Precio prom. Consumidor (USD/lb)	Variación precio prom. Consumidor
2013	30,275.69		22.245		80.86		2,085.02		\$14.34		\$0.20	
2014	40,279.23	33.04%	22.85	2.72%	78.25	-3.23%	2,001.88	-3.99%	\$16.58	15.62%	\$0.22	10.00%
2015	65,552.95	62.75%	23.10	1.07%	78.40	0.19%	1,623.32	-18.91%	\$20.03	20.81%	\$0.24	9.09%
2016	38,021.44	-42.00%	22.95	-0.65%	79.51	1.41%	1,470.00	-9.45%	\$18.20	-9.14%	\$0.22	-8.33%
2017	39,060.39	2.73%	22.70	-1.09%	80.76	1.57%	2,040.22	38.79%	\$12.20	-32.97%	\$0.19	-13.64%
2018	23,368.15	-40.17%	22.65	-0.22%	80.51	-0.31%	1,924.97	-5.65%	\$17.47	43.20%	\$0.22	17.98%

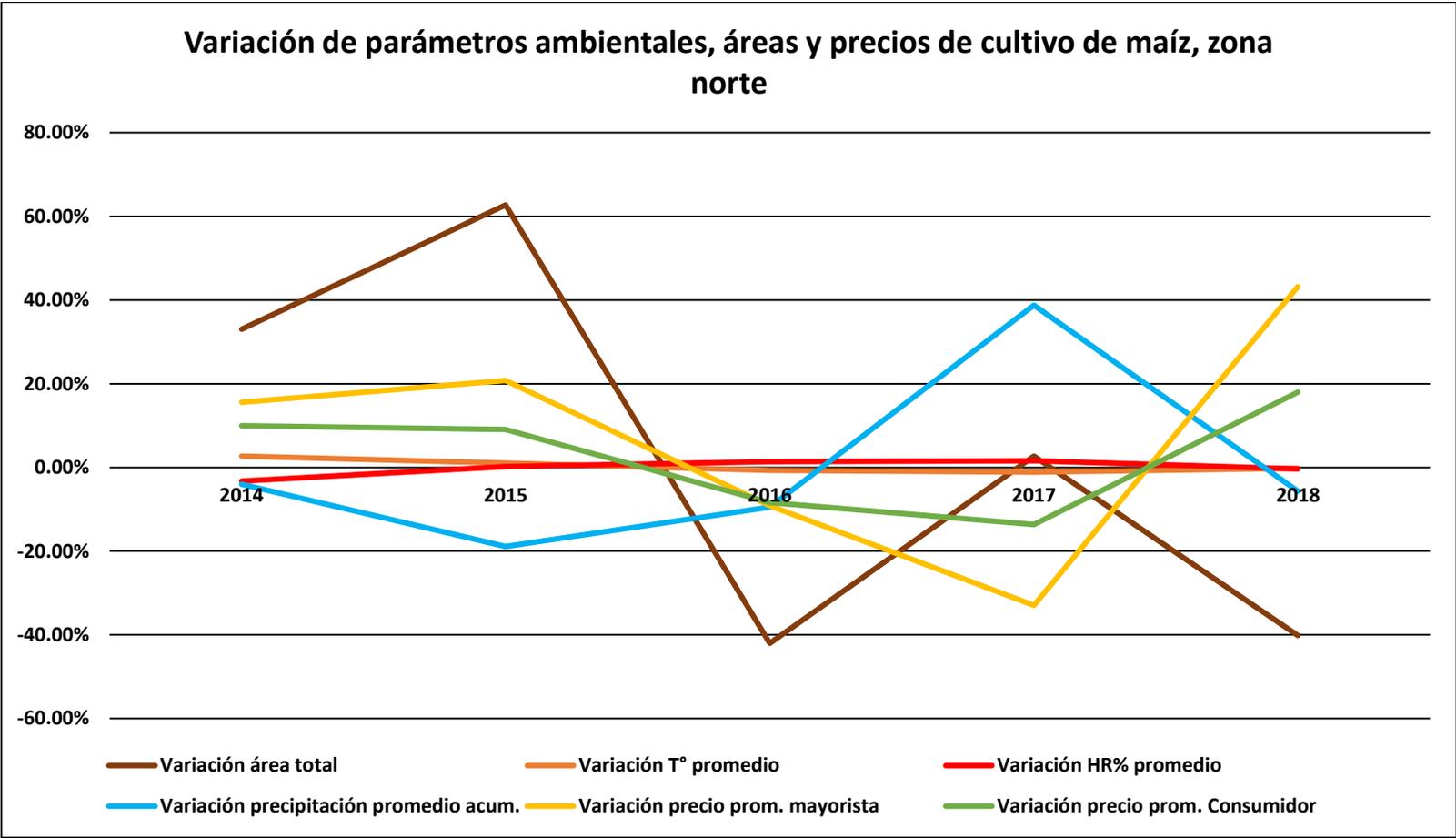
Fuente: elaboración propia a partir de los datos del MARN y de los anuarios de estadísticas de la DGEA

Tabla 86. Variación de parámetros ambientales, área y precio del maíz, zona norte



Fuente: elaboración propia a partir de los datos del MARN y de los anuarios de estadísticas de la DGEA
 Gráfico 7. Variación porcentual anual de parámetros ambientales, área y precio del arroz, zona norte¹³

¹³ La variación de área total debe ser interpretada con el eje primario (porcentajes del lado izquierdo) del gráfico. La variación de: parámetros ambientales, precio mayorista y precio de consumidor, debe interpretarse con los porcentajes del eje secundario (lado derecho del gráfico).



Fuente: elaboración propia a partir de los datos del MARN y de los anuarios de estadísticas de la DGEA
 Gráfico 8. Variación porcentual anual de parámetros ambientales, área y precio del maíz, zona norte

En el caso del arroz de la zona norte, se han identificado variaciones significativas en dos de los años incluidos en el periodo de estudio. Para el 2015 en comparación con 2014, se determinó una reducción de 50.57% en el área estimada del cultivo, junto a un incremento tanto en temperatura (1.07%) como en humedad relativa (0.19%), además de una disminución de 18.91% en la precipitación de ese año; lo que corresponde a los coeficientes de correlación identificados en el apartado correspondiente. Sin embargo, en 2015 hubo una variación negativa en el precio promedio de mayorista (5.39%) y en el precio de consumidor final (6.00%), lo cual no concuerda con la reducción del área estimada de arroz y por ende, con el decremento de la producción de ese año. En referencia al arroz en el año 2018, se identificó la mayor área estimada del cultivo en el periodo investigado, con un total de 2,130.28 hectáreas, y que comparado con 2017 implicó un aumento de 24.49%. También se obtuvo en 2018 una disminución de: temperatura (0.22%), humedad relativa (0.31%), precipitación (5.65%) y un alza de 1.23% en el precio a mayorista.

Para la base de datos del maíz en 2015 respecto a 2014, se identificó un incremento de 62.75% en el área estimada de este cultivo, además de obtener un incremento en la temperatura (1.07%) y humedad relativa (0.19%). Por otra parte, la precipitación disminuyó 18.91%, y aumentaron los precios a nivel mayorista (20.81%) y a nivel de consumidor (9.09%). La relación observada entre el área del cultivo y los parámetros ambientales hace referencia al análisis de correlación entre dichas variables, donde el coeficiente más alto fue $R= 0.152$.

Siempre en referencia al maíz, en el año 2018 comparado con 2017, el área estimada del cultivo presentó una reducción de 40.17%, de igual forma disminuyeron: temperatura (0.22%), humedad relativa (0.31%) y precipitación (5.65%). Al contrario de las variables anteriores, los precios reflejaron un alza de 43.20% (mayorista) y de 17.98% (consumidor). En este caso, a pesar de que los coeficientes de correlación obtenidos en el apartado correspondiente fueron bajos, todas las variables muestran una relación lógica, donde a una fluctuación negativa en uno o más parámetros (sobre todo precipitación y temperatura), corresponde por lo general una disminución en el área estimada de cultivo; y a su vez, un alza en los precios.

3.3.7 Estimación económica de la producción de maíz y arroz, zona norte

Arroz

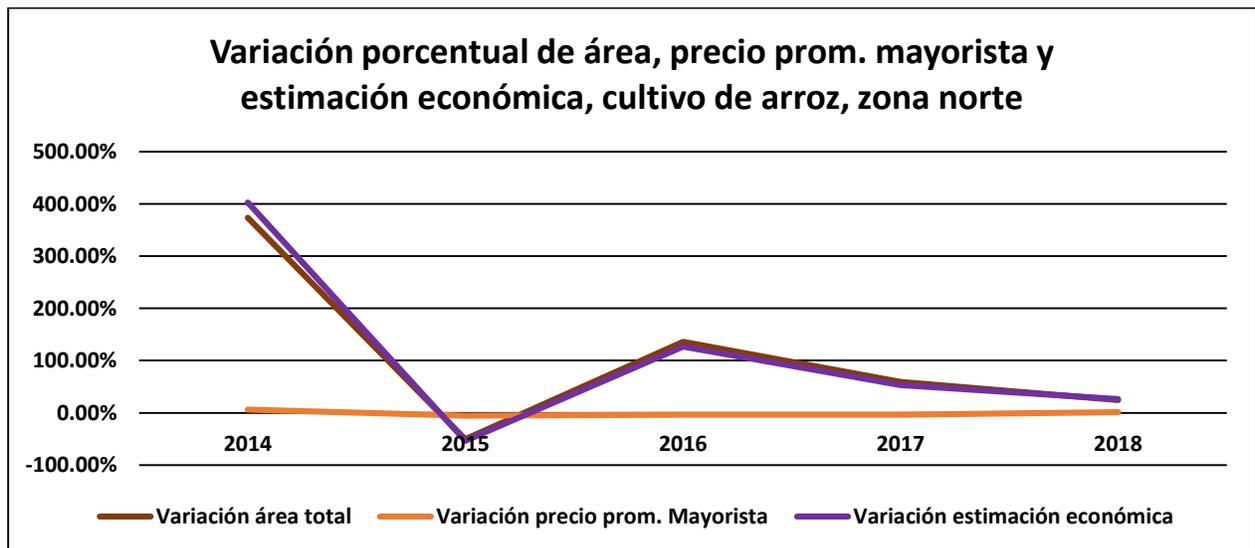
Año	Área total (ha)	Rendimiento	Unidad área	Producción estimada (qq)	Precio prom. Mayorista (USD/qq)	Estimación económica a precio prom. mayorista
2013	194.76	256	qq/ha	49,859.24	\$38.05	\$1,897,144.25
2014	921.61			235,932.54	\$40.44	\$9,541,112.03
2015	455.52			116,613.64	\$38.26	\$4,461,638.00
2016	1,073.64			274,851.09	\$36.80	\$10,114,520.14
2017	1,711.23			438,076.15	\$35.40	\$15,507,895.55
2018	2,130.28			545,350.86	\$35.84	\$19,545,374.95

Fuente: elaboración propia a partir de los datos de los anuarios de estadísticas de la DGEA y el CENTA

Tabla 87. Estimación económica de la producción de arroz, zona norte

En el año 2015, según el análisis de correlación realizado, la disminución en la precipitación tiene relación con el decremento en el área estimada del cultivo de arroz, por lo que la producción estimada fue de 116,613.64 quintales que; a un precio promedio de mayorista de \$38.26, tiene un valor estimado de \$4,461,638.00.

Para el año 2018, aunque no se obtuvieron coeficientes de correlación altos entre área estimada de cultivo y lluvia, se estimó un área de 2,130.28 hectáreas, con una producción de 545,350.86 quintales, valorado en \$19,545,374.95.



Fuente: elaboración propia a partir de los datos de los anuarios de estadísticas de la DGEA y el CENTA

Gráfico 9. Variación porcentual de área, precio prom. mayorista y estimación económica de la producción de arroz, zona norte

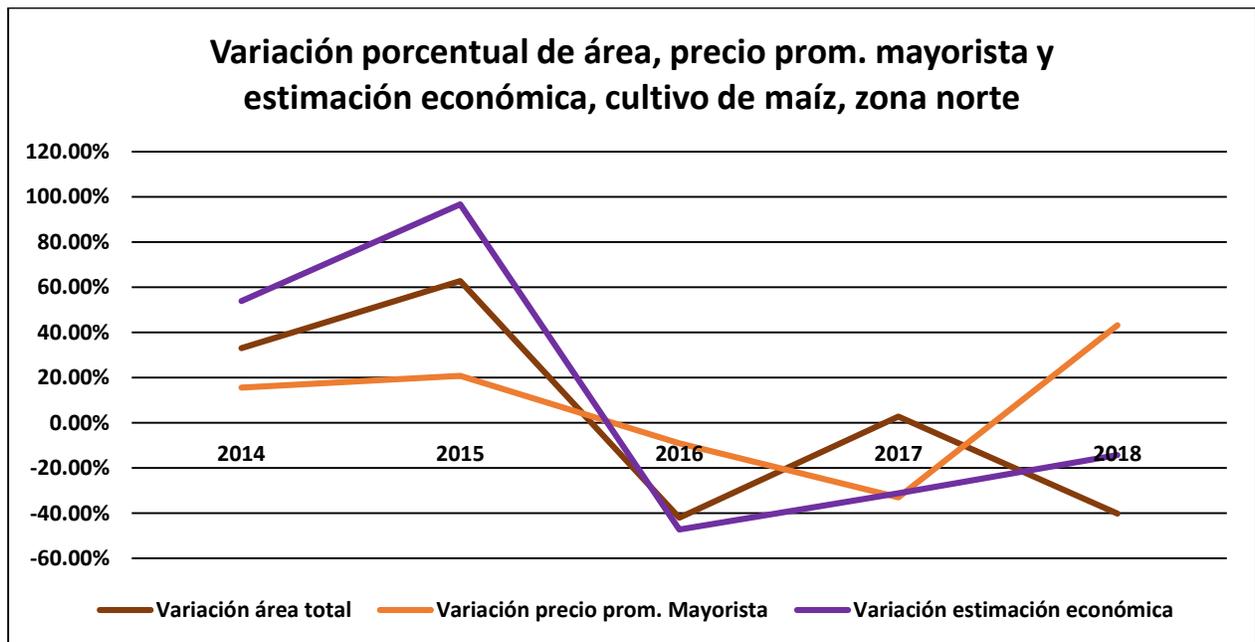
Maíz

Año	Área total (ha)	Rendimiento	Unidad área	Producción estimada (qq)	Precio prom. Mayorista (USD/qq)	Estimación económica a precio prom. mayorista
2013	30,275.69	115.65	qq/ha	3,501,383.07	\$14.34	\$50,209,833.27
2014	40,279.23			4,658,292.67	\$16.58	\$77,234,492.50
2015	65,552.95			7,581,198.19	\$20.03	\$151,851,399.79
2016	38,021.44			4,397,179.81	\$18.20	\$80,028,672.52
2017	39,060.39			4,517,334.02	\$12.20	\$55,111,475.04
2018	23,368.15			2,702,526.03	\$17.47	\$47,213,129.80

Fuente: elaboración propia a partir de los datos de los anuarios de estadísticas de la DGEA y el CENTA

Tabla 88. Estimación económica de la producción de maíz, zona norte

En el año 2015, el área estimada del cultivo de maíz fue de 65,552.95 hectáreas, presentando un aumento de 62.75% respecto a 2014; lo anterior a pesar de poseer coeficientes de correlación bajos con los parámetros ambientales, obteniendo una producción estimada de 7,581,198.19 quintales, y estimada económicamente en \$151,851,399.79. En 2018 el área estimada disminuyó a 23,368.15 hectáreas, que comparado con 2017 significó un 40.17% menos, mostrando relación con el comportamiento de los parámetros ambientales; llegando a una producción estimada de 2,702,526.03 quintales, que económicamente se estimó en \$47,213,129.80, considerando el alza del precio mayorista a \$17.47.



Fuente: elaboración propia a partir de los datos de los anuarios de estadísticas de la DGEA y el CENTA

Gráfico 10. Variación porcentual anual de área, precio prom. mayorista y estimación económica de la producción de maíz, zona norte

4. DISCUSIÓN

CEPAL, FAO e IICA (2012) reconocen que la variabilidad climática es uno de los principales retos para la agricultura actual y futura, en donde idealmente la producción de granos básicos debe responder a la demanda de los mismos; por lo que la FAO (2002) plantea el uso de nuevas tecnologías que se adapten a las necesidades actuales y prevean las futuras en materia de agricultura, sobre todo en el sentido que pueden aportar a garantizar la seguridad alimentaria y nutricional de las personas; que según de la Isla (2009), implica un trabajo eficiente por parte de los gobiernos municipales, nacionales, organismos internacionales y otras instancias, para asegurar el acceso a una alimentación adecuada a las necesidades de los habitantes de un espacio geográfico determinado.

Por ello, en seguimiento a lo planteado por CEPAL, FAO e IICA (2012) y FAO (2002), esta investigación se basa en los insumos resultantes de la investigación de Rivas et al. (2020), donde estimaron áreas de cultivos de maíz y arroz para el periodo 2013-2018 a partir del procesamiento y análisis de imágenes del satélite Landsat 8. Lo anterior es respaldado por IICA y PROCISUR (2014), ya que plantean que la teledetección es una de las técnicas más efectivas y eficientes para monitorear áreas cultivadas extensas, teniendo como finalidad principal la adquisición de datos mediante imágenes captadas por uno o más sensores. Según Campos, Figueroa y García (s.f.), los sensores instalados en satélites ofrecen la oportunidad de monitorear espacios geográficos amplios, los cuales tomaría mucho tiempo si se mapean con visitas a campo. En este sentido, la importancia de dichos sensores radica en la precisión, periodicidad y bajo costo, entre otros aspectos.

Cabe mencionar que esta investigación coincide en algunos puntos con el trabajo realizado por Farrell y Rivas (2010), en términos de la metodología para localizar geográficamente las zonas de estudio, tal como se menciona a continuación: utilización de un receptor GPS para localizar las coordenadas de cada lugar; asimismo, para delimitar dichas zonas se usó un software para elaborar polígonos.

A modo de respaldo y principalmente como medio de verificación, se realizaron vuelos fotogramétricos con dron para incrementar la precisión en la localización de las zonas de estudio, obteniendo ortomosaicos que facilitaron la elaboración de los polígonos mencionados anteriormente. Por otra parte, tal como lo recomienda CEPAL, BM y FAO (2016), se adoptó la hectárea como medida de superficie para las estimaciones de áreas de los cultivos de maíz y arroz.

En la investigación realizada por Rivas et al. (2020), utilizaron imágenes satelitales obtenidas de la página web del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS) captadas por los sensores del satélite Landsat 8. A partir de dichas imágenes, se determinaron las áreas ocupadas por los cultivos de maíz y arroz. Relacionado con lo anterior; Campos, Figueroa y García (s.f.) plantean que el desafío en el uso de los sensores remotos consiste en relacionar de forma adecuada la información espacial captada, teniendo claro las variables a estudiar; además de la resolución temporal, espacial y radiométrica. Por su parte, el Consejo Federal de Inversiones de Argentina -CFIA- (2001), realizó una investigación similar, donde usaron imágenes de los satélites Landsat 5 y Landsat 7, para identificar áreas ocupadas por cultivos de maíz y también por caña de azúcar, tabaco y soja; sin embargo, no incluyeron el cultivo de arroz.

Es importante destacar que la FAO (2002) menciona que las investigaciones cuyo eje temático principal es la agricultura o áreas afines deben ser abordadas de forma multidisciplinaria, confirmando así la importancia de esta investigación, articulando la economía, la agricultura y los sistemas de información geográfica. Por su parte, CEPAL, FAO e IICA (2012) abordan la importancia que tiene la investigación agrícola, ya que aporta nuevo conocimiento técnico o mejoras para las prácticas actuales, teniendo en cuenta el uso y desarrollo de herramientas tecnológicas, mencionando que queda más tiempo para adaptar la agricultura al cambio climático, sabiendo que también se debe abordar la mitigación.

Rivas et al. (2020) hicieron uso de la plataforma ArcGIS 10.7.1 (compuesta por ArcCatalog, ArcMap, ArcGlobe y ArcScene), además del programa libre y de código abierto QGIS 3.6.3, para procesar las imágenes satelitales, ya que los procedimientos de ambos programas se complementan. Asimismo, es necesario mencionar que el uso de esos softwares es respaldado por Ballvé y Satorre (2016), además de ser reconocidos por IICA y PROCISUR (2014), como algunos de los programas con mayor frecuencia de uso para el procesamiento y análisis de datos espaciales.

Por su parte, Bocco, Sayago, Violini y Willington (2015) reconocen la utilidad del satélite Landsat; sin embargo, estos autores externan que una de las limitaciones de las imágenes ópticas, es el exceso de nubosidad. En este sentido, Rivas et al. (2020) reportaron que para todo el periodo de estudio 2013-2018 fueron procesadas imágenes de los cuadrantes 18050,18051, 19050 y 19051; pero haciendo diferencia entre los meses en los cuales se contó con imágenes útiles para el estudio: para el año 2013, julio y agosto; en los años 2014, 2016, 2017 y 2018, julio, agosto y octubre; finalmente para el año 2015, junio, julio y agosto. Específicamente para el año 2013, se obtuvieron áreas de maíz y arroz incluso menores a las del año 2015, a pesar que en 2013 se registró mayor cantidad de precipitación que en 2015; por lo que se considera que haber procesado imágenes satelitales de dos meses no permitió identificar de forma precisa la superficie cultivada de maíz y arroz, debido al exceso de nubosidad en las imágenes de los demás meses.

Los productos derivados del análisis a partir de imágenes satelitales como los utilizados en esta investigación, pueden ser de suma importancia para orientar el monitoreo de actividad agrícola en campo, estimar superficies agrícolas y, por tanto, estimar la producción del cultivo o cultivos monitoreados, dando seguimiento a grandes extensiones de superficie con datos obtenidos de forma periódica, tal como lo confirman Ballvé y Satorre (2016) y Bocco, Sayago, Violini y Willington (2015).

Además, es importante mencionar la relevancia que tuvo la base de datos otorgada por el Observatorio Ambiental del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador (MARN), para poder comprender el comportamiento y la relación entre los parámetros ambientales incluidos en esta investigación. En este sentido, Basualdo, Berterretche y Vila (2015) señalan que el monitoreo y la constante actualización de datos es fundamental para una investigación de este tipo. CEPAL, BM y FAO (2016) afirman que para una mejor comprensión de las variables que influyen en la producción agrícola es preciso contar con datos completos recopilados de forma sistemática, teniendo en cuenta que la FAO (2015) plantea que la agricultura está siendo afectada directamente por el cambio climático, ya que existen aumentos de temperatura que son cada vez más frecuentes; además de aumentar la inestabilidad del mercado en el costo de insumos para la producción, precios de venta, entre otros factores, por lo tanto es urgente implementar medidas de adaptación.

La FAO (2002) expone también que existen proyecciones que indican que el potencial de producción de cultivos podría aumentar en latitudes templadas y frías; por otro lado, en las zonas de los trópicos y subtrópicos, dicho potencial podría reducirse. Esto podría generar dependencia de un país y propiciar la importación de granos básicos para suplir la demanda nacional de dichos productos. Los granos básicos como el maíz y arroz (además de otros cultivos), son considerados por la FAO (2016) como algunos de los alimentos más importantes para la nutrición, así como algunas de las fuentes principales de ingreso de agricultores.

Para esta investigación se utilizó la base de datos proporcionada por el MARN, y posteriormente en ArcMap 10.7.1, se hizo uso de la geoestadística mediante el método de interpolación denominado IDW (distancia inversa ponderada), que según IICA y PROCISUR (2014) es el método que comúnmente se utiliza para interpolar datos, con el cual se identificaron los valores mínimos y máximos más cercanos a los registros de la base de datos del MARN.

El Ministerio de Agroindustria de Argentina (s.f.), coincide con Farrell y Rivas (2010) al enfatizar que la estimación de superficie de cultivos es de suma importancia y utilidad para diversos actores políticos, económicos y sociales; sobre todo para tomar decisiones en materia de planificación de acciones encaminadas a la asignación de recursos para el sector agrícola. La FAO (2002) menciona que, para realizar investigaciones relacionadas con la agricultura, es ideal involucrar a diferentes actores tales como instituciones del gobierno central, agricultores, municipalidades, la academia, entre otros. Lo anterior, coincide con lo realizado en esta investigación, ya que se tuvo contacto directo con las Agencias de Extensión del CENTA, agricultores y Gobiernos Municipales. En línea con el planteamiento de la toma de decisiones y actores involucrados, IICA y PROCISUR (2014) posicionan a los sistemas de información geográfica, incluyendo el análisis geoestadístico, como herramientas útiles y necesarias para producir y presentar insumos que aporten en los procesos de toma de decisiones en los diferentes niveles de Gobierno, con horizontes temporales definidos en el corto, mediano y largo plazo; adoptando estrategias que consideren la mayor cantidad de variables que inciden la agricultura, con lo que se puede abordar la rotación y diversificación de cultivos, épocas de siembra, entre otros aspectos.

En el análisis de correlación realizado a la base de datos nacional resultante de la interpolación hecha con los registros de las estaciones meteorológicas proporcionados por el MARN, se obtuvieron resultados por cada cultivo.

Para el arroz a nivel nacional, los coeficientes más altos de correlación fueron entre los parámetros ambientales, mayoritariamente entre precipitación y temperatura, y temperatura con humedad relativa, presentando relaciones de tipo inversa. La precipitación tuvo en tres de los seis años investigados, una relación de tipo directa. Los registros anuales del área estimada de arroz presentaron mayor correlación con los siguientes parámetros ambientales: precipitación ($R = -0.236$, año 2013), temperatura ($R = 0.182$, año 2013) y humedad relativa ($R = 0.226$, año 2014); en contraposición, las menores correlaciones fueron: $R = -0.009$ (año 2017), $R = -0.057$ (año 2016) y $R = 0.015$ (año 2017) respectivamente en el mismo orden.

En el caso del maíz al igual que para el arroz, los coeficientes más altos fueron obtenidos en las correlaciones entre precipitación, temperatura y humedad relativa. La correlación entre precipitación y temperatura, y entre temperatura con humedad relativa, mostró una relación de tipo inversa; mientras que hubo relación directa entre precipitación y humedad relativa. Por otra parte, dos de las tres correlaciones con coeficientes más altos entre el área estimada de maíz con los parámetros ambientales, se encuentran en el año 2013, algo que también se identificó en el área de arroz. El área de maíz estuvo relacionada con precipitación ($R = -0.108$) y con temperatura ($R = 0.133$). En cuanto al coeficiente de correlación más alto entre dicha área estimada y humedad relativa, fue encontrado en el año 2015 ($R = -0.098$). Finalmente, los coeficientes de correlación más bajos entre el área de maíz con los parámetros ambientales, fueron obtenidos en 2018, precipitación ($R = -0.021$), temperatura ($R = 0.024$) y humedad relativa ($R = -0.007$).

En el caso de ambos cultivos, se identificaron coeficientes de correlación superiores a cero, pues en todos los casos existe asociación entre variables estudiadas; por tanto, se confirma el planteamiento teórico de Larios, Álvarez y Quineche (2017), acerca del aporte de los coeficientes de correlación para determinar la asociación entre variables.

Con los modelos de regresión lineal múltiple a nivel nacional, se obtuvieron coeficientes de correlación múltiple entre 0.117 y 0.248 para arroz y entre 0.027 y 0.153 para maíz. En este sentido y tal como lo afirman Larios, Álvarez y Quineche (2017), estos coeficientes establecen cuanta asociación existe entre todas las variables incluidas en el modelo. Ya que los coeficientes de determinación ajustados fueron bajos, implica que existe poca asociación entre las variables introducidas.

Para las bases de datos del cultivo de arroz de todo el país, los coeficientes de determinación ajustados fueron: 0.062 (2013), 0.053 (2014), 0.043 (2015), 0.014 (2016), 0.022 (2017), y 0.036 (2018), por lo que estos modelos de regresión lineal son capaces de predecir bajos porcentajes de variabilidad del área estimada de arroz para el periodo de estudio.

En el caso de las bases de datos anuales del cultivo del maíz, los coeficientes de determinación fueron: 0.020 (2013), 0.016 (2014), 0.010 (2015), 0.019 (2016), 0.023 (2017) y 0.001 (2018), por lo cual los porcentajes de variabilidad del área estimada de maíz para cada año que pueden ser explicados con los modelos de regresión lineal, son incluso inferiores a los obtenidos en el cultivo de arroz.

Según la variación en las áreas estimadas de los cultivos investigados a nivel nacional, los parámetros ambientales incluidos y los precios tanto a nivel mayorista como de consumidor, es claro que ante una fluctuación negativa en la precipitación y la humedad relativa (y a veces en la temperatura), generalmente ha correspondido disminución del área estimada de los cultivos.

En el caso del arroz, en el año 2015 respecto a 2014, el área estimada disminuyó un 64.96%, donde se observó relación con la reducción de 23.39% en la precipitación y un 1.09% de aumento en la temperatura de ese año. Para 2017 en comparación con 2016, el área del cultivo aumentó un 91.75% que se corresponde con el 36.03% de incremento en la precipitación y una reducción de 1.09% en temperatura.

Para el cultivo del maíz, en 2015 respecto a 2014 y teniendo en cuenta la oscilación negativa presentada por la lluvia ese año (ya descrita para la base de datos de arroz del mismo año), el área estimada se redujo un 28.75%; además de identificar un alza de 20.81% en el precio a nivel mayorista y un alza de 9.09% en el precio promedio a nivel de consumidor. En 2017 comparado con 2016, el área del cultivo incrementó 7.71%, mostrando relación con el alza de 36.03% en la precipitación. También hubo un decremento de 32.97% en el precio de mayorista y una baja de 13.64% en el precio de consumidor.

Lo encontrado en esta investigación sobre la variación de las áreas estimadas de cultivos en relación a la variabilidad de los parámetros ambientales, coincide con los hallazgos hechos por Basualdo, Berterretche y Vila (2015). Resultados bastante similares fueron determinados por Magaña y Morales (1999) citado en Granados-Ramírez y Longar (2008), al afirmar que la producción agrícola tiene relación con la variabilidad en la precipitación y la temperatura. En este caso, dichas oscilaciones

han aportado de forma positiva o negativa en las áreas estimadas de ambos cultivos. La relación encontrada entre la fluctuación positiva de la temperatura y el decremento tanto de las áreas estimadas como de la precipitación, concuerda con el planteamiento del Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias –IFPRI (2009). Carrasco (2016) plantea que los cultivos de maíz y arroz son sensibles a la fluctuación de los parámetros ambientales incluidos en esta investigación.

En cuanto a la extensión de las áreas de cultivos a nivel nacional, el que reportó una mayor área estimada en todos los años fue el maíz, lo cual concuerda con la investigación hecha por Granados-Ramírez y Longar (2008). En el caso del arroz, en 2018 se identificó la mayor área estimada del periodo (6,996.89 hectáreas).

Un estudio similar realizado por Granados-Ramírez y Longar (2008) obtuvo que las áreas cultivadas estudiadas presentaron variaciones debido a la fluctuación de los parámetros ambientales, principalmente la precipitación, lo cual también es respaldado por el IICA (2015)

Es necesario aclarar que tal como se ha presentado en la introducción de esta investigación, cada cultivo tiene un requerimiento hídrico, por lo que, en ocasiones, aunque la época lluviosa inicie en mayo, no se registra la precipitación óptima para satisfacer la necesidad hídrica de cada cultivo, sobre todo por la cantidad de días sin lluvia (Granados-Ramírez y Longar, 2008).

Carrasco (2016) enfatiza en que cada cultivo tiene también un requerimiento de temperatura específico. En este caso, la temperatura promedio más alta a nivel nacional fue de 23.10 °C (año 2015) y la precipitación más baja (1,375.70 mm) fue determinada en el año 2016. En este sentido y al comparar con los requerimientos edafoclimáticos del maíz planteados por el CENTA (2014), el requerimiento hídrico del maíz se encuentra entre 500 a 700 mm y una temperatura entre 20 y 27 °C. El CENTA (2019) indica que el arroz presenta la necesidad de aproximadamente entre 800 a 2000 mm de agua, y una temperatura entre 22 y 32 °C.

La variación positiva en la temperatura y el decremento en la precipitación, provocó en ocasiones alza en los precios de ambos cultivos. Esta afirmación concuerda con lo mencionado por el IFPRI (2009), que aplica sobre todo en el caso del maíz.

El IICA (2015) señala que la temperatura, la humedad relativa y la lluvia, entre otros parámetros ambientales son críticos para la producción agropecuaria; sin embargo, dada la variabilidad que dichos parámetros presentan, también pueden convertirse en factores de riesgo; lo que se identificó en la investigación realizada abordando la estimación económica, en donde en el año 2015 respecto a 2014, hubo una reducción de 28.75% del área estimada de cultivo de maíz, ante la reducción de 23.39% en la precipitación y el incremento de 1.09% en la temperatura; lo cual provocó un cambio negativo de 13.92% en la estimación económica de la producción de maíz para ese año. En el caso del arroz siempre en el año 2015 en comparación con 2014 el área se redujo en 64.96%, ante la oscilación negativa de precipitación ya mencionada y el aumento de temperatura ya señalado, se obtuvo una estimación económica de la producción con una baja de 66.85%.

Para el año 2018 respecto a 2017, la estimación económica de la producción nacional de maíz disminuyó en 17.11%, debido a una disminución de 42.11% en el área estimada del cultivo, concomitante con la fluctuación negativa de la temperatura (0.22%), de la humedad relativa (0.31%) y de la precipitación (2.79%). Por tanto, en este año, lo que ocasionó que la estimación económica no decreciera tanto, fue el alza de 43.20% en el precio por quintal de maíz; por consiguiente, la variabilidad de los parámetros ambientales aparentemente no afectó significativamente en dicha estimación. En referencia al arroz, aplica la fluctuación de temperatura, humedad relativa y precipitación mencionadas para el maíz, igualmente en 2018 comparado con 2017, la superficie cultivada estimada de arroz aumentó 9.09%, lo cual posiblemente aportó para que la estimación económica de la producción a nivel nacional registrara una variación positiva de 10.45%.

Zona norte

Contrario a los resultados obtenidos en la zona occidental, para el cultivo del arroz en la zona norte se obtuvieron coeficientes de correlación bivariada más bajos que los de nivel nacional. En esta zona se identificaron dos coeficientes que no presentaron significatividad: para el año 2013 el área estimada del cultivo de arroz y humedad relativa ($R= 0.002$), y para el 2017, área estimada de arroz y la precipitación ($R= -0.004$). Todo lo anterior tuvo su repercusión en los modelos de regresión. Los coeficientes de correlación del cultivo del maíz en esta zona, fueron más altos que los de nivel nacional en algunos años.

En la zona norte, en comparación con el nivel nacional, el cultivo del arroz en 2013 tuvo un coeficiente de correlación múltiple de 0.160, evidentemente inferior al 0.248 nacional; lo cual provocó la obtención de un coeficiente de determinación ajustado de 0.026, de igual forma inferior al del país. En el caso del maíz siempre en 2013, la situación fue diferente, ya que se calculó un coeficiente de correlación múltiple de 0.252 con lo que se obtuvo un coeficiente de determinación de 0.064. Aunque este último coeficiente es bajo, es mayor al obtenido a nivel nacional. En los años subsiguientes, los coeficientes de correlación y de determinación ajustados fueron mayores, exceptuando los de 2015, 2017 y 2018 para el cultivo de arroz.

En cuanto a la fluctuación de los parámetros ambientales de la zona norte, los rangos fueron los mismos que a nivel nacional. La diferencia radica en los porcentajes de cambio de las áreas estimadas de ambos cultivos. En el caso del arroz, en 2015 tuvo una disminución en su área estimada (menor que la de nivel nacional), siendo de 50.57%; posteriormente en 2018 esta área presentó un aumento de 24.49%, que fue mayor que la oscilación a nivel nacional.

Según se pudo comprobar mediante el análisis de correlación, la variación en las áreas estimadas de cultivos y los parámetros ambientales presentaron algún nivel de asociación, que ocasionó el efecto correspondiente tanto en la producción, como en la estimación económica.

5. CONCLUSIONES

Tal como se ha podido evidenciar con esta investigación, la economía puede auxiliarse de los sistemas de información geográfica para abordar temáticas de la agricultura; sobre todo cuando se trate de grandes extensiones geográficas, contando con información periódica, actualizada, de resolución espacial aceptable, a un bajo costo y con buena precisión. Por tanto, se puede afirmar que contar con bases de datos actualizadas, permitirá que cualquier investigación y posterior procesamiento y análisis de la información, oriente de forma efectiva y eficiente cualquier proceso de toma de decisiones.

En cuanto a los parámetros ambientales, se comprobó que la precipitación tuvo una correlación de tipo inversa con la temperatura y esta última también presentó correlación del mismo tipo que la anterior con humedad relativa. Por otra parte, se considera que el comportamiento de los parámetros ambientales, ha presentado diversos grados de asociación con el área estimada de cada cultivo, además de que los precios promedio anuales de cada uno de los cultivos, aportaron positiva o negativamente en la estimación económica de la producción para cada año.

Si bien es cierto, esta investigación se aborda desde una perspectiva económica, es importante destacar que actualmente la agricultura debe experimentar cambios drásticos en la adaptación al cambio climático (sin dejar de lado la mitigación), ya que la disminución de la precipitación (especialmente en la cantidad de días consecutivos sin lluvia) es considerada como un factor de riesgo; por lo que se hace necesario construir e implementar sistemas de riego eficientes, además de requerir una gestión efectiva del recurso hídrico de parte de las correspondientes entidades de Gobierno.

Finalmente se debe tener en cuenta que, como país, se debe garantizar la seguridad alimentaria de toda la población, produciendo la mayor proporción de granos básicos demandados a nivel nacional, para reducir al mínimo la dependencia a la importación de los mismos.

6. REFERENCIAS

- Anderson, D., Sweeney, D., Williams, T., Camm, J., & Cochran, J. (2016). *Estadística para negocios y economía* (12 ed.). México: Cengage Learning.
- Arozarena, A., Otero, I., & Ezquerro, A. (2016). *Sistemas de Captura de la Información. Fotogrametría y Teledetección*. Madrid, España: DEXTRA Editorial.
- Ballvé, R., & Satorre, E. (2016). *Ayudando a la estimación del rendimiento con imágenes satelitales*. Argentina: Cultivar Conocimiento Agropecuario S.A. Obtenido de http://www.cultivaragro.com.ar/capacitaciones/Ayudando_a_la_estimaci%C3%B3n_del_rinde_1454512461.pdf
- Basualdo, A., Berterretche, M., & Vila, F. (2015). *Inventario y características principales de los mapas de riesgos para la agricultura disponibles en los países de América Latina y el Caribe*. San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). Obtenido de <http://repositorio.iica.int/bitstream/11324/2550/1/BVE17038647e.pdf>
- Bocco, M., Sayago, S., Violini, S., & Willington, E. (2015). *Modelos simples para estimar rendimiento de cultivos agrícolas a partir de imágenes satelitales: una herramienta para la planificación*. Obtenido de <http://44jaiio.sadio.org.ar/sites/default/files/sts26-35.pdf>
- Campos Aranda, D. F. (2005). *Agroclimatología cuantitativa de cultivos*. México, D.F.: Editorial Trillas , S.A. de C.V.
- Campos, A., Figueroa, E., & García, A. (s.f.). Evaluación de la información satelital para el estudio de la dinámica hidrológica de la Llanura Pampeana. Obtenido de <https://www.ina.gob.ar/ifrh-2014/Eje3/3.11.pdf>
- Carrasco Choque, F. (2016). Efectos del cambio climático en la producción y rendimiento de la quinua en el distrito de Juli, periodo 1997 – 2014. *Revista comuni@cción*, vol. 7(núm. 2), páginas 38-47. Obtenido de <http://www.scielo.org.pe/pdf/comunica/v7n2/a04v7n2.pdf>
- Centro Nacional de Registros de El Salvador. (2015). *Archivos de coberturas geográficas, límites: departamental y municipal*. San Salvador. Obtenido de <https://www.cnr.gob.sv/geoportal-cnr/>

Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal "Enrique Álvarez Córdova" (CENTA). (2014). *Guía técnica. El cultivo del maíz*. El Salvador. Obtenido de <http://centa.gob.sv/docs/guias/granos%20basicos/GuiaTecnica%20Maiz%202014.pdf>

Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal "Enrique Álvarez Córdova" (CENTA). (2019). *Guía técnica. Cultivo de arroz (Oryza sativa L.)*. Ministerio de Agricultura y Ganadería de El Salvador. Obtenido de http://centa.gob.sv/docs/guias/granos%20basicos/Guia%20Centa_Arroz%202019.pdf

Chiang, A. C., & Wainwright, K. (2006). *Métodos fundamentales de economía matemática*. México: Mcgraw-hill/interamericana.

Comisión Económica Para América Latina (CEPAL), Banco Mundial (BM) y Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2016). *Manual de estadísticas sobre costos de producción agrícola lineamientos para la recolección, compilación y difusión de datos*. Obtenido de <http://gsars.org/wp-content/uploads/2016/06/Handbook-on-ACPS-ES-WEBFILE-280616.pdf>

Comisión Económica para América Latina y el Caribe, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. (2012). *Perspectivas de la agricultura y del desarrollo rural en las Américas: una mirada hacia América Latina y el Caribe*. Santiago de Chile.

Comité Regional de Recursos Hidráulicos (CRRH). (2017). Obtenido de <http://recursoshidricos.org/tiempo/>

Consejo Federal de Inversiones de Argentina (CFIA). (2001). *Estimación de superficies cultivadas y rendimientos productivos utilizando información de sensores remotos*. Tucumán. Obtenido de http://www.eeaoc.org.ar/upload/upload/l_Final00-01.pdf

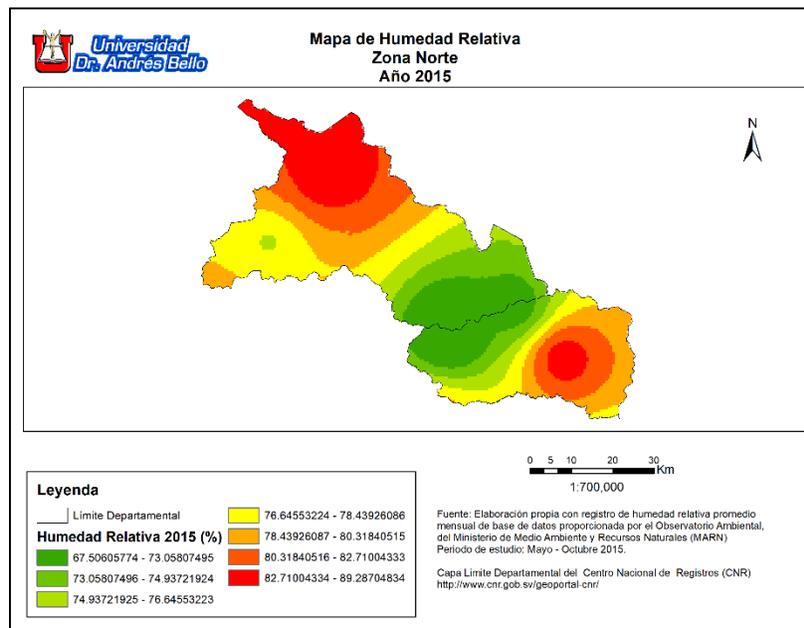
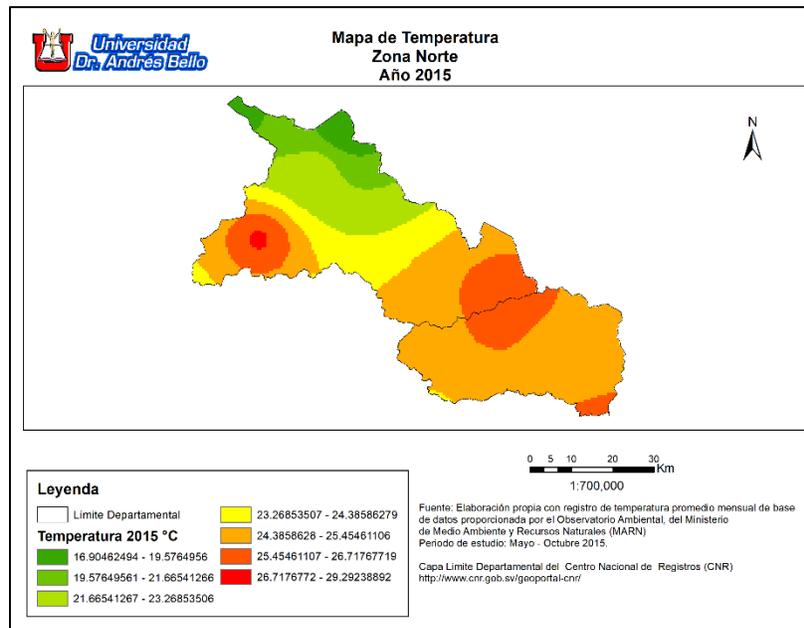
De la Isla de Bauer, M. d. (2009). *Agricultura: Deterioro y preservación ambiental*. México: Mundi-Prensa México.

Dirección General de Economía Agropecuaria (DGEA). (2013). *Anuario de Estadísticas Agropecuarias 2012-2013*. Ministerio de Agricultura y Ganadería de El Salvador. Obtenido de <http://www.mag.gob.sv/direccion-general-de-economia-agropecuaria/estadisticas-agropecuarias/anuarios-de-estadisticas-agropecuarias/#>

- Dirección General de Economía Agropecuaria (DGEA). (2014). *Anuario de estadísticas agropecuarias 2013-2014*. Ministerio de Agricultura y Ganadería de El Salvador. Obtenido de <http://www.mag.gob.sv/direccion-general-de-economia-agropecuaria/estadisticas-agropecuarias/anuarios-de-estadisticas-agropecuarias/#>
- Dirección General de Economía Agropecuaria (DGEA). (2015). *Anuario de estadísticas agropecuarias 2014-2015*. Ministerio de Agricultura y Ganadería de El Salvador. Obtenido de <http://www.mag.gob.sv/direccion-general-de-economia-agropecuaria/estadisticas-agropecuarias/anuarios-de-estadisticas-agropecuarias/#>
- Dirección General de Economía Agropecuaria (DGEA). (2016). *Anuario de estadísticas agropecuarias 2015-2016*. Ministerio de Agricultura y Ganadería de El Salvador. Obtenido de <http://www.mag.gob.sv/direccion-general-de-economia-agropecuaria/estadisticas-agropecuarias/anuarios-de-estadisticas-agropecuarias/#>
- Dirección General de Economía Agropecuaria (DGEA). (2017). *Anuario de estadísticas agropecuarias 2016-2017*. Ministerio de Agricultura y Ganadería de El Salvador. Obtenido de <http://www.mag.gob.sv/direccion-general-de-economia-agropecuaria/estadisticas-agropecuarias/anuarios-de-estadisticas-agropecuarias/#>
- Dirección General de Economía Agropecuaria (DGEA). (2018). *Anuario de estadísticas agropecuarias 2017-2018*. Ministerio de Agricultura y Ganadería de El Salvador. Obtenido de <http://www.mag.gob.sv/direccion-general-de-economia-agropecuaria/estadisticas-agropecuarias/anuarios-de-estadisticas-agropecuarias/#>
- Falla, J. (2012). *GeoProcesamiento. De GeoDatos a GeoInformación*. Costa Rica: Universidad para la Cooperación Internacional. Obtenido de http://www.ucipfg.com/Repositorio/MGAP/MGAP-05/BLOQUE-ACADEMICO/Unidad-3/complementarias/GeoProcesamiento_nov_2012.pdf
- Farrell, M., & Rivas, R. (Mayo de 2010). Estimación de rendimiento en girasol a partir de imágenes captadas por el sensor MODIS-TERRA. *Revista Ciencia*, Vol. 5(Nº 19), páginas 29-43. Obtenido de <http://www.exactas.unca.edu.ar/revista/v190/pdf/ciencia19-3.pdf>
- Granados-Ramírez, R., & Longar Blanco, M. (5008). Variabilidad pluvial, agricultura y marginación en el estado de Michoacán. *Revista análisis económico*, vol. 23(núm. 54), páginas 283-303. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/40424618_Variabilidad_pluvial_agricultura_y_marginacion_en_el_estado_de_Michoacan

- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). (2015). *Agricultura y variabilidad climática. Lo que debemos saber del clima*. Obtenido de <http://repositorio.iica.int/bitstream/11324/2601/1/BVE17038689e.pdf>
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, Programa Cooperativo para el Desarrollo Tecnológico Agroalimentario y Agroindustrial del Cono Sur. (2014). *Manual de agricultura de precisión*. Montevideo.
- Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias (IFPRI). (2009). *Cambio Climático: El impacto en la agricultura y los costos de adaptación*. Obtenido de http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/AGRO_Noticias/docs/costo%20adaptacion.pdf
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía de México -INEGI-. (2014). *Sistemas de Información Geográfica*. México: INEGI. Obtenido de <https://www.inegi.org.mx/inegi/spc/doc/internet/sistemainformaciongeografica.pdf>
- Instituto Nacional Tecnológico (INATEC). (2017). *Manual del Protagonista: Granos Básicos*. Managua, Nicaragua. Obtenido de https://www.jica.go.jp/project/nicaragua/007/materials/ku57pq0000224spz-att/Granos_Basicos.pdf
- Instituto para la Innovación Tecnológica en la Agricultura (INTAGRI). (2017). *La Fenología del Maíz y su Relación con la Incidencia de Plagas*. México. Obtenido de <https://www.intagri.com/articulos/fitosanidad/la-fenologia-del-maiz-y-su-relacion-con-la-incidencia-de-plagas>
- Levin, R., & Rubin, D. (2010). *Estadística para administración y economía* (7 ed.). México: Pearson Educación.
- Ministerio de Agroindustria de Argentina. (s.f.). *Metodología para la estimación de la superficie sembrada con cultivos extensivos*. Presidencia de la Nación de Argentina. Obtenido de [https://www.agroindustria.gob.ar/sitio/areas/estimaciones/estimaciones/metodologia/_archivos//000000_Metodo%20de%20segmentos%20aleatorios%20\(Versión%205\).pdf](https://www.agroindustria.gob.ar/sitio/areas/estimaciones/estimaciones/metodologia/_archivos//000000_Metodo%20de%20segmentos%20aleatorios%20(Versión%205).pdf)
- Murgida , A. M., Travasso , M. I., González, S., & Rodríguez, G. (2014). Evaluación de impactos del cambio climático sobre la producción agrícola en la argentina. *Serie Medioambiente y Desarrollo*. Obtenido de https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/37197/1/LCL3770_es.pdf

- Observatorio Ambiental. (2018). *Base de datos de temperatura, humedad relativa y precipitación. Disponible por petición al Observatorio Ambiental*. San Salvador: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2015). *Construyendo una visión común para la agricultura y alimentación sostenibles: Principios y enfoques*. Roma.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2016). *Ahorrar para crecer en la práctica: Maíz, trigo, arroz. Guía para la producción sostenible de cereales*. Roma.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2002). *Agricultura mundial, hacia los años 2015/2030, informe resumido*. Roma. Obtenido de http://www.fao.org/tempref/agl/AGLW/ESPIM/CD-ROM/documents/3B_s.pdf
- Organización Meteorológica Mundial (WMO). (2011). *Guía de prácticas climatológicas*. Obtenido de https://library.wmo.int/pmb_ged/wmo_100_es.pdf
- Organización Meteorológica Mundial (WMO). (s.f.). *Base de datos terminológica*. Obtenido de <http://wmo.multitransms.com/MultiTransWeb/TermBase/Account.mvc/DirectAccess?languageCode=en-CA&username=Guest>
- Real Academia Española. (2018). *Diccionario de la Lengua Española, versión electrónica 23.2*. Obtenido de <https://dle.rae.es/>
- Rivas Domínguez, M. R., Martínez Ventura, M. J., Escuintla Morán, J. J., Monterroza Alemán, J. N., & Cano, S. A. (2019). *Estimación geoespacial de efectos por variación de precipitación en la producción de granos básicos, El Salvador 2013-2017*. San Salvador: Universidad Dr. Andrés Bello. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/333149034_Estimacion_geoespacial_de_efectos_por_variacion_de_precipitacion_en_la_produccion_de_granos_basicos_El_Salvador_2013-2017
- Sydsaeter, K., Hammond, P., & Carvajal, A. (2012). *Matemáticas para el análisis económico*. España: Pearson educación.
- Triola, M. (2013). *Estadística* (11 ed.). México: Pearson Educación.



Comisión de Acreditación de la Calidad de la Educación Superior UNIVERSIDAD DR. ANDRÉS BELLO (UNAB) ACREDITADA 2019 - 2024

