

# Estimación económica de efectos por variabilidad de parámetros ambientales en la producción de granos básicos, El Salvador 2013–2017





# Estimación económica de efectos por variabilidad de parámetros ambientales en la producción de granos básicos, El Salvador 2013–2017

---



DIRECCIÓN NACIONAL DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL  
ÁREA ECONOMÍA, ADMINISTRACIÓN Y COMERCIO 2018

338.17

M378e Martínez Ventura, Milton José, 1988-  
Estimación económica de efectos por variabilidad de parámetros  
sv ambientales en la producción de granos básicos, El Salvador  
2013-2017/ Milton José Martínez Ventura, Mario René Rivas Domínguez,  
Marjorie Gabriela Molina Salazar. -- 1ª ed. -- San Salvador, El  
Salv. : Universidad Doctor Andrés Bello, 2019.  
176 p. : il. ; 28 cm.  
ISBN 978-99961-65-24-5  
1. Cosechas-Aspectos ambientales. 2. Agricultura-Aspectos  
económicos. I. Rivas Domínguez, Mario René, 1981- coaut. II.  
Molina Salazar, Marjorie Gabriela, 1988- coaut. III. Título.

BINA/jmh

©2019, Universidad Doctor Andrés Bello

Primera Edición 2019

Código Institucional: **4SR/INV/B/2018**

ISBN

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

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

Con la cooperación técnica de:

José Domingo Romero Chica y Samuel Alejandro Cano (Sede San Miguel), Josué Noé Monterroza (Sede Chalatenango), Juan José Escuintla Morán (Sede Sonsonate) y Oscar Antonio Peña Rodas (Sede San Salvador).

---

<sup>1</sup> 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](mailto: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 2017.

Héctor Reynaldo Deras Flores, Gerencia de Investigación y Desarrollo Tecnológico; Directores y Técnicos de las Agencias de Extensión del Centro de Tecnología Agropecuaria y Forestal "Enrique Álvarez Córdova" (CENTA), de San Miguel, Sonsonate y 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 San 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 occidental .....	18
2.2.2 Zona norte .....	21
2.2.3 Zona central .....	25
2.2.4 Zona oriental .....	27
2.3 Insumos utilizados.....	31
2.3.1 Capas vectoriales (proyecto de tecnología UNAB 2018) .....	31
2.3.2 Información sobre cultivos, rendimiento y precios.....	47
2.3.3 Base de datos de temperatura, humedad relativa y precipitación del Observatorio Ambiental .....	47
2.4 Tratamiento de la información.....	47
2.4.1 Base de datos de temperatura, humedad relativa y precipitación .....	47
2.4.2 Áreas estimadas de cultivos maíz y arroz .....	49
2.4.3 Rendimiento potencial y precio promedio anual .....	49
3. RESULTADOS.....	50
3.1 Nacional.....	50
3.1.1 Mapas nacionales de temperatura .....	51
3.1.2 Mapas nacionales de humedad relativa .....	56
3.1.3 Análisis de correlación .....	61
3.1.4 Modelos de regresión lineal anuales .....	69
3.1.5 Modelo de regresión 2013-2014, estimación lluvia 2015 .....	72
3.1.6 Modelo de regresión 2013-2016, estimación lluvia 2017 .....	73
3.1.7 Análisis de variación de parámetros ambientales, áreas y precios del maíz y arroz a nivel nacional .....	74
3.1.8 Estimación económica de la producción nacional de maíz y arroz .....	78
3.2 Zona Occidental .....	80
3.2.1 Mapas de temperatura .....	80

3.2.2	Mapas de humedad relativa .....	85
3.2.3	Análisis de correlación, zona occidental .....	90
3.2.4	Modelos de regresión lineal anuales .....	93
3.2.4	Análisis de variación de parámetros ambientales, áreas y precios del maíz y arroz, zona occidental .....	96
3.2.5	Estimación económica de la producción de maíz y arroz, zona occidental .....	100
3.3	Zona Norte .....	102
3.3.1	Mapas de temperatura .....	102
3.3.2	Mapas de humedad relativa .....	107
3.3.3	Análisis de correlación, zona norte .....	112
3.3.4	Análisis de variación de parámetros ambientales, áreas y precios del maíz y arroz, zona norte .....	115
3.3.5	Estimación económica de la producción de maíz y arroz, zona norte .... .....	119
3.4	Zona Central .....	121
3.4.1	Mapas de temperatura .....	121
3.4.2	Mapas de humedad relativa .....	126
3.4.3	Análisis de correlación, zona central .....	131
3.4.4	Análisis de variación de parámetros ambientales, áreas y precios del maíz y arroz, zona central .....	134
3.4.5	Estimación económica de la producción de maíz y arroz, zona central . .....	138
3.5	Zona Oriental .....	140
3.5.1	Mapas de temperatura .....	140
3.5.2	Mapas de humedad relativa .....	145
3.5.3	Análisis de correlación, zona oriental .....	150
3.5.4	Análisis de variación de parámetros ambientales, áreas y precios del maíz y arroz, zona oriental .....	153
3.5.5	Estimación económica de la producción de maíz y arroz, zona oriental .....	157
4.	DISCUSIÓN.....	159
5.	CONCLUSIONES .....	171
6.	REFERENCIAS .....	172

## 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 Occidental .....	18
Figura 7. Ortomosaico: Hacienda Canadá, Cantón Miravalle, Municipio de Sonsonate .....	19
Figura 8. Ortomosaico: Cantón Miravalle, Municipio de Sonsonate .....	19
Figura 9. Ortomosaico: Cantón El Carrizal, Municipio de Santo Domingo de Guzmán .....	20
Figura 10. Ortomosaico: Cantón Las Hojas, Municipio de San Antonio del Monte	20
Figura 11. Ortomosaico: Cantón El Caulote, Municipio de Santo Domingo de Guzmán. ....	20
Figura 12. Mapa de Municipios muestreados, Zona Norte .....	21
Figura 13. Ortomosaico 1: Cantón La Cuchilla, municipio de La Laguna .....	22
Figura 14. Ortomosaico 2: cantón La Cuchilla, Municipio de La Laguna .....	22
Figura 15. Ortomosaico 1: cantón Upatoro, municipio de Chalatenango .....	23
Figura 16. Ortomosaico 2: cantón Upatoro, municipio de Chalatenango .....	23
Figura 17. Ortomosaico: Cantón Upatoro, municipio de Chalatenango .....	23
Figura 18. Ortomosaico: zona periurbana, municipio de San Francisco Morazán	24
Figura 19. Ortomosaico: zona periurbana, municipio de Las Vueltas .....	24
Figura 20. Mapa de Municipio muestreado, Zona Central .....	25
Figura 21. Ortomosaico 1: cantón Atiocoyo, municipio de San Pablo Tacachico ...	26
Figura 22. Ortomosaico 2: cantón Atiocoyo, municipio de San Pablo Tacachico ...	26
Figura 23. Ortomosaico 3: cantón Atiocoyo, municipio de San Pablo Tacachico ...	26
Figura 24. Mapa de Municipio muestreado, Zona Oriental .....	27
Figura 25. Ortomosaico 1: caserío Casamota, cantón El Brazo, municipio de San Miguel.....	28
Figura 26. Ortomosaico 2: caserío Casamota, cantón El Brazo, municipio de San Miguel.....	28
Figura 27. Ortomosaico 1: cantón Miraflores, municipio de San Miguel .....	29
Figura 28. Ortomosaico 2: cantón Miraflores, municipio de San Miguel .....	29
Figura 29. Ortomosaico 3: cantón Miraflores, municipio de San Miguel .....	30
Figura 30. Ortomosaico 4: cantón Miraflores, municipio de San Miguel .....	30
Figura 31. Ortomosaico 1: caserío Las Lomitas, cantón El Volcán, Municipio de San Miguel .....	30
Figura 32. Capas vectoriales utilizadas.....	31
Figura 33. Estimación anual de áreas por cultivo .....	31



Figura 34. Valores de precipitación anual.....	31
Figura 35. Mapa nacional de precipitación, 2013 .....	32
Figura 36. Mapa nacional, área estimada cultivo maíz, 2013 .....	33
Figura 37. Mapa nacional, área estimada cultivo de arroz, 2013 .....	34
Figura 38. Mapa nacional de precipitación, 2014 .....	35
Figura 39. Mapa nacional, área estimada cultivo maíz, 2014 .....	36
Figura 40. Mapa nacional, área estimada cultivo de arroz, 2014 .....	37
Figura 41. Mapa nacional de precipitación, 2015 .....	38
Figura 42. Mapa nacional, área estimada cultivo de maíz, 2015 .....	39
Figura 43. Mapa nacional, área estimada cultivo de arroz, 2015 .....	40
Figura 44. Mapa nacional de precipitación, 2016 .....	41
Figura 45. Mapa nacional, área estimada cultivo de maíz, 2016 .....	42
Figura 46. Mapa nacional, área estimada cultivo de arroz, 2016 .....	43
Figura 47. Mapa nacional de precipitación, 2017 .....	44
Figura 48. Mapa nacional, área estimada cultivo de maíz, 2017 .....	45
Figura 49. Mapa nacional, área estimada cultivo de arroz, 2017 .....	46
Figura 50. Mapa nacional de temperatura, 2013.....	51
Figura 51. Mapa nacional de temperatura, 2014.....	52
Figura 52. Mapa nacional de temperatura, 2015.....	53
Figura 53. Mapa nacional de temperatura, 2016.....	54
Figura 54. Mapa nacional de temperatura, 2017.....	55
Figura 55. Mapa nacional de humedad relativa, 2013.....	56
Figura 56. Mapa nacional de humedad relativa, 2014.....	57
Figura 57. Mapa nacional de humedad relativa, 2015.....	58
Figura 58. Mapa nacional de humedad relativa, 2016.....	59
Figura 59. Mapa nacional de humedad relativa, 2017.....	60
Figura 60. Mapa de temperatura, zona occidental, 2013.....	80
Figura 61. Mapa de temperatura, zona occidental, 2014.....	81
Figura 62. Mapa de temperatura, zona occidental, 2015.....	82
Figura 63. Mapa de temperatura, zona occidental, 2016.....	83
Figura 64. Mapa de temperatura, zona occidental, 2017 .....	84
Figura 65. Mapa de humedad relativa, zona occidental, 2013.....	85
Figura 66. Mapa de humedad relativa, zona occidental, 2014.....	86
Figura 67. Mapa de humedad relativa, zona occidental, 2015.....	87
Figura 68. Mapa de humedad relativa, zona occidental, 2016.....	88
Figura 69. Mapa de humedad relativa, zona occidental, 2017 .....	89
Figura 70. Mapa de temperatura, zona norte, 2013.....	102
Figura 71. Mapa de temperatura, zona norte, 2014.....	103
Figura 72. Mapa de temperatura, zona norte, 2015.....	104
Figura 73. Mapa de temperatura, zona norte, 2016.....	105
Figura 74. Mapa de temperatura, zona norte, 2017.....	106
Figura 75. Mapa de humedad relativa, zona norte, 2013.....	107

Figura 76. Mapa de humedad relativa, zona norte, 2014.....	108
Figura 77. Mapa de humedad relativa, zona norte, 2015.....	109
Figura 78. Mapa de humedad relativa, zona norte, 2016.....	110
Figura 79. Mapa de humedad relativa, zona norte, 2017.....	111
Figura 80. Mapa de temperatura, zona central, 2013.....	121
Figura 81. Mapa de temperatura, zona central, 2014.....	122
Figura 82. Mapa de temperatura, zona central, 2015.....	123
Figura 83. Mapa de temperatura, zona central, 2016.....	124
Figura 84. Mapa de temperatura, zona central, 2017.....	125
Figura 85. Mapa de humedad relativa, zona central, 2013.....	126
Figura 86. Mapa de humedad relativa, zona central, 2014.....	127
Figura 87. Mapa de humedad relativa, zona central, 2015.....	128
Figura 88. Mapa de humedad relativa, zona central, 2016.....	129
Figura 89. Mapa de humedad relativa, zona central, 2017.....	130
Figura 90. Mapa de temperatura, zona oriental, 2013.....	140
Figura 91. Mapa de temperatura, zona oriental, 2014.....	141
Figura 92. Mapa de temperatura, zona oriental, 2015.....	142
Figura 93. Mapa de temperatura, zona oriental, 2016.....	143
Figura 94. Mapa de temperatura, zona oriental, 2017.....	144
Figura 95. Mapa de humedad relativa, zona oriental, 2013.....	145
Figura 96. Mapa de humedad relativa, zona oriental, 2014.....	146
Figura 97. Mapa de humedad relativa, zona oriental, 2015.....	147
Figura 98. Mapa de humedad relativa, zona oriental, 2016.....	148
Figura 99. Mapa de humedad relativa, zona oriental, 2017.....	149

## 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 2013, nacional .....	61
Tabla 6. Correlación bivariada 2014, nacional .....	62
Tabla 7. Correlación bivariada 2015, nacional .....	63
Tabla 8. Correlación bivariada 2016, nacional .....	64
Tabla 9. Correlación bivariada 2017, nacional .....	65
Tabla 10. Correlación bivariada 2013-2017, nacional (tabla 1/2) .....	66
Tabla 11. Correlación bivariada 2013-2017, nacional (tabla 2/2) .....	67
Tabla 12. Resumen modelo de regresión lineal anual 2013, nacional .....	69
Tabla 13. Análisis de varianza, modelo de regresión lineal anual 2013, nacional ..	69
Tabla 14. Resumen modelo de regresión lineal anual 2014, nacional .....	69
Tabla 15. Análisis de varianza, modelo de regresión lineal anual 2014, nacional ..	69
Tabla 16. Resumen modelo de regresión lineal anual 2015, nacional .....	70
Tabla 17. Análisis de varianza, modelo de regresión lineal anual 2015, nacional ..	70
Tabla 18. Resumen modelo de regresión lineal anual 2016, nacional .....	70
Tabla 19. Análisis de varianza, modelo de regresión lineal anual 2016, nacional ..	70
Tabla 20. Resumen modelo de regresión lineal anual 2017, nacional .....	71
Tabla 21. Análisis de varianza, modelo de regresión lineal anual 2017, nacional ..	71
Tabla 22. Resumen de modelos de regresión lineal anuales 2013-2017, nacional ..	71
Tabla 23. Resumen modelo de regresión lineal 2013-2014, estimación lluvia 2015, nacional ..	72
Tabla 24. Análisis de varianza, modelo de regresión lineal 2013-2014, estimación de lluvia 2015, nacional.....	72
Tabla 25. Resumen modelo de regresión lineal 2013-2016, estimación lluvia 2017, nacional ..	73
Tabla 26. Análisis de varianza, modelo de regresión lineal 2013-2016, estimación de lluvia 2017, nacional.....	73
Tabla 27. Variación de parámetros ambientales, área y precio del maíz a nivel nacional .....	74
Tabla 28. Variación de parámetros ambientales, área y precio del arroz a nivel nacional .....	74
Tabla 29. Estimación económica de la producción nacional de maíz .....	78
Tabla 30. Estimación económica de la producción nacional de arroz .....	79
Tabla 31. Correlación bivariada 2013, zona occidental.....	90
Tabla 32. Correlación bivariada 2014, zona occidental.....	90
Tabla 33. Correlación bivariada 2015, zona occidental.....	91

Tabla 34. Correlación bivariada 2016, zona occidental.....	91
Tabla 35. Correlación bivariada 2017, zona occidental.....	92
Tabla 36. Variación de parámetros ambientales, área y precio del maíz, zona occidental .....	96
Tabla 37. Variación de parámetros ambientales, área y precio del arroz, zona occidental .....	96
Tabla 38. Estimación económica de la producción de maíz, zona occidental.....	100
Tabla 39. Estimación económica de la producción de arroz, zona occidental .....	101
Tabla 40. Correlación bivariada 2013, zona norte .....	112
Tabla 41. Correlación bivariada 2014, zona norte .....	112
Tabla 42. Correlación bivariada 2015, zona norte .....	113
Tabla 43. Correlación bivariada 2016, zona norte .....	113
Tabla 44. Correlación bivariada 2017, zona norte .....	114
Tabla 45. Variación de parámetros ambientales, área y precio del maíz, zona norte .....	115
Tabla 46. Variación de parámetros ambientales, área y precio del arroz, zona norte .....	115
Tabla 47. Estimación económica de la producción de maíz, zona norte .....	119
Tabla 48. Estimación económica de la producción de arroz, zona norte .....	120
Tabla 49. Correlación bivariada 2013, zona central.....	131
Tabla 50. Correlación bivariada 2014, zona central.....	131
Tabla 51. Correlación bivariada 2015, zona central.....	132
Tabla 52. Correlación bivariada 2016, zona central.....	132
Tabla 53. Correlación bivariada 2017, zona central.....	133
Tabla 54. Variación de parámetros ambientales, área y precio del maíz, zona central .....	134
Tabla 55. Variación de parámetros ambientales, área y precio del arroz, zona central .....	134
Tabla 56. Estimación económica de la producción de maíz, zona central.....	138
Tabla 57. Estimación económica de la producción de arroz, zona central .....	139
Tabla 58. Correlación bivariada 2013, zona oriental.....	150
Tabla 59. Correlación bivariada 2014, zona oriental.....	150
Tabla 60. Correlación bivariada 2015, zona oriental.....	151
Tabla 61. Correlación bivariada 2016, zona oriental.....	151
Tabla 62. Correlación bivariada 2017, zona oriental.....	152
Tabla 63. Variación de parámetros ambientales, área y precio del maíz, zona oriental .....	153
Tabla 64. Variación de parámetros ambientales, área y precio del arroz, zona oriental .....	153
Tabla 65. Estimación económica de la producción de maíz, zona oriental.....	157
Tabla 66. Estimación económica de la producción de arroz, zona oriental .....	158

## 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 maíz a nivel nacional .....	75
Gráfico 4. Variación porcentual anual de parámetros ambientales, área y precio del arroz a nivel nacional.....	76
Gráfico 5. Variación porcentual anual de área, precio prom. mayorista y estimación económica de la producción nacional de maíz .....	78
Gráfico 6. Variación porcentual anual de área, precio prom. mayorista y estimación económica de la producción nacional de arroz.....	79
Gráfico 7. Variación porcentual anual de parámetros ambientales, área y precio del maíz, zona occidental.....	97
Gráfico 8. Variación porcentual anual de parámetros ambientales, área y precio del arroz, zona occidental .....	98
Gráfico 9. Variación porcentual anual de área, precio prom. mayorista y estimación económica de la producción de maíz, zona occidental .....	100
Gráfico 10. Variación porcentual anual de área, precio prom. mayorista y estimación económica de la producción de arroz, zona occidental .....	101
Gráfico 11. Variación porcentual anual de parámetros ambientales, área y precio del maíz, zona norte .....	116
Gráfico 12. Variación porcentual anual de parámetros ambientales, área y precio del arroz, zona norte.....	117
Gráfico 13. Variación porcentual anual de área, precio prom. mayorista y estimación económica de la producción de maíz, zona norte .....	119
Gráfico 14. Variación porcentual de área, precio prom. mayorista y estimación económica de la producción de arroz, zona norte .....	120
Gráfico 15. Variación porcentual anual de parámetros ambientales, área y precio del maíz, zona central .....	135



Gráfico 16. Variación porcentual anual de parámetros ambientales, área y precio del arroz, zona central .....	136
Gráfico 17. Variación porcentual anual de área, precio prom. mayorista y estimación económica de la producción de maíz, zona central .....	138
Gráfico 18. Variación porcentual de área, precio prom. mayorista y estimación económica de la producción de arroz, zona central .....	139
Gráfico 19. Variación porcentual anual de parámetros ambientales, área y precio del maíz, zona oriental .....	154
Gráfico 20. Variación porcentual anual de parámetros ambientales, área y precio del arroz, zona oriental.....	155
Gráfico 21. Variación porcentual anual de área, precio prom. mayorista y estimación económica de la producción de maíz, zona oriental .....	157
Gráfico 22. Variación porcentual de área, precio prom. mayorista y estimación económica de la producción de arroz, zona oriental.....	158



## **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
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
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	Coeficiente de correlación
R <sup>2</sup>	Coeficiente de determinación
s.f.	sin fecha
Sig.	Significancia
°C	Grados centígrados
HR%	Humedad relativa

## PRÓLOGO

En nuestro país ya es muy conocido que la producción de granos básicos se ve afectada por la ausencia o exceso de precipitación, además de otros aspectos edafoclimáticos como el rango de temperatura aceptable, el tipo de suelo, entre otros; sin embargo, es poco explorada la posibilidad que la economía se pueda auxiliar de estimaciones geoespaciales a nivel nacional, utilizando imágenes satelitales y fotogrametría, para valorar económicamente cómo el comportamiento de la lluvia o la temperatura (entre otros parámetros ambientales), beneficia o afecta la producción de granos básicos.

Por lo anterior, el siguiente informe contiene una propuesta de articulación de diferentes áreas de conocimiento tales como: economía, administración y comercio, agronomía (específicamente la rama de agricultura) y tecnología (con sistemas de información geográfica). En este sentido, se realizó una estimación económica de los efectos ocasionados por la variación de los parámetros ambientales: precipitación, temperatura y humedad relativa, en la producción de maíz y arroz tanto a nivel nacional como por zonas: occidental, norte, central y oriental.

Para realizar la presente investigación del área de economía, administración y comercio, se han utilizado los resultados del proyecto de investigación 2018 del área de tecnología de nuestra Universidad, retomando específicamente los mapas de áreas estimadas de cultivo de maíz y arroz, además de mapas de precipitación obtenidos mediante interpolación de datos para el periodo 2013-2017. Además, se incluyó y procesó la base de datos de temperatura, humedad relativa y precipitación, proporcionada por el Observatorio Ambiental del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador. 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 una fuente de consulta que será de utilidad 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 diferentes procedimientos estadísticos.

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

Rectora





## RESUMEN

Esta investigación permitió articular tres diferentes ramas de conocimiento como son: economía, agronomía y las tecnologías de información geoespacial para estimar indicadores económicos relacionados a la agricultura.

Para el análisis estadístico se utilizó la base de datos 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 el apoyo de las agencias de extensión del Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal “Enrique Álvarez Córdova” de los municipios de Sonsonate, La Libertad, Chalatenango y San Miguel.

Los resultados de esta investigación se presentan en primer lugar a nivel nacional, y luego divididos en las siguientes zonas: occidental, compuesta por los departamentos de Ahuachapán, Sonsonate y Santa Ana; zona norte, con Chalatenango y Cabañas; zona central, integrada por La Libertad, San Salvador, Cuscatlán, La Paz y San Vicente; y la zona oriental, compuesta por Usulután, San Miguel, Morazán y La Unión.

Tanto a nivel nacional como por zonas, se diseñaron mapas de distribución espacial de temperatura y humedad relativa, mediante el método geoestadístico “kriging”, se procesaron los registros de la base de datos proporcionada por el Observatorio Ambiental del MARN, logrando obtener los valores mínimos, máximos y promedios de los parámetros ambientales.

Se obtuvo mediante análisis de correlación la vinculación existente entre los diferentes parámetros ambientales, donde se determinó que la temperatura posee correlación bivariada inversa con las variables: humedad relativa, precipitación y metros sobre el nivel del mar; entre otras.

Mediante esta investigación se comprobó que, en la mayoría de los casos, las variaciones de los parámetros ambientales estudiados presentan un efecto positivo o negativo en la superficie de los cultivos de maíz y arroz, según sea el caso. En general, un aumento de temperatura implicó una disminución en la humedad relativa y en la precipitación; lo cual a su vez mostro una posible relación con la disminución en el área estimada de los cultivos incluidos, que en algunos casos tuvo un efecto negativo en la estimación económica de la producción.



## ABSTRACT

This research allowed to articulate three different branches of knowledge such as: economy, agronomy and geospatial information technologies to estimate economic indicators related to agriculture.

For the statistical analysis, the database provided by the Environmental Observatory of the Ministry of Environment and Natural Resources of El Salvador (MARN) was used. For the field visits in areas of corn and rice production, the support agencies of the National Center for Agricultural and Forestry Technology "Enrique Álvarez Córdova" from the municipalities of Sonsonate, La Libertad, Chalatenango and San Miguel, were of highly sustenance.

The results of this research are presented first at the national level, and then divided into the following areas: western, composed of the departments of Ahuachapán, Sonsonate and Santa Ana; northern zone, with Chalatenango and Cabañas; central zone, integrated by La Libertad, San Salvador, Cuscatlán, La Paz and San Vicente; and the eastern zone, composed of Usulután, San Miguel, Morazán and La Unión.

Both national and by areas maps of spatial distribution of temperature and relative humidity, were designed, using the geostatistical method "kriging", the records of the database provided by the MARN Environmental Observatory were processed, obtaining the minimum values, maximum and averages of the environmental parameters.

The association between the different environmental parameters was obtained by correlation analysis, where it was determined that the temperature has an inverse bivariate correlation with the variables: relative humidity, precipitation and meters above sea level; among others.

Through this research, it was found that, in most cases, variations in the environmental parameters studied have a positive or negative effect on the surface of corn and rice crops, as the case may be. In general, an increase in temperature implied a decrease in relative humidity and precipitation; which in turn showed a possible relationship with the decrease in the estimated area of the crops included, which in some cases had a negative effect on the economic estimate of production.





## 1. INTRODUCCIÓN

En El Salvador se conocen los efectos de algunos fenómenos meteorológicos, y al estimar los daños de dichos eventos, en la mayoría de los casos se hace en términos de infraestructura, pérdida de cultivos, entre otros. Sin embargo, es muy poco estudiada la articulación de diferentes áreas de conocimiento tales como la economía, tecnología de información geoespacial y agronomía para estimar la producción agrícola.

En este sentido, la presente investigación contempla y propone la posibilidad de articular las áreas anteriormente mencionadas, mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica para ejecutar técnicas como teledetección, fotogrametría, geoprocusamiento; obteniendo así capas vectoriales y capas ráster, áreas estimadas y mapas digitales; relacionando lo anterior con información de la base de datos sobre parámetros ambientales, 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 y Sistemas de Información Geográfica, para realizar estimaciones.

Para el estudio se han utilizado las capas vectoriales de áreas estimadas de cultivo de maíz, arroz y mapas de precipitación anual, obtenidos en el proyecto 2018 del área de Tecnología de la Universidad Dr. Andrés Bello (UNAB). Por otra parte, la base de datos de parámetros ambientales: temperatura, humedad relativa y precipitación, fue proporcionada por el Observatorio Ambiental, perteneciente al Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Otros elementos fundamentales a tomar en cuenta para el procesamiento y análisis de la información, son los conceptos y definiciones siguientes:

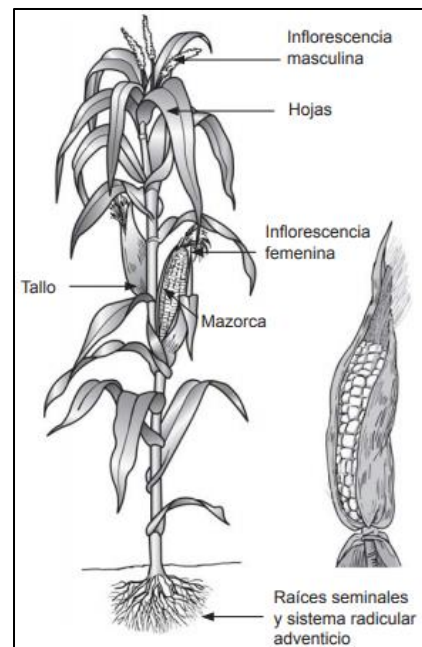
## Cultivo del maíz

### ✓ Generalidades

El cultivo del maíz (*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 morfología (o forma) de la planta de maíz se caracteriza por poseer raíces fasciculadas que anclan 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).



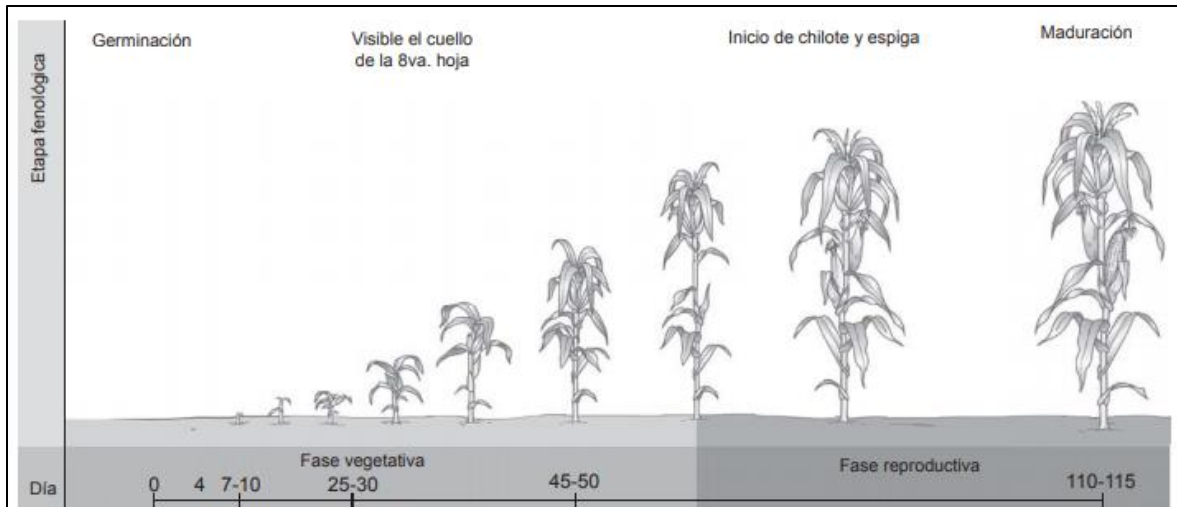
Fuente: INATEC, 2017

Figura 1. Morfología de la planta de maíz

### ✓ Etapas fenológicas

De acuerdo con el Instituto para la Innovación Tecnológica en Agricultura de México (INTAGRI)<sup>2</sup>, 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).

<sup>2</sup> <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

Respecto a sus requerimientos edafoclimáticos; es decir, las necesidades respecto a temperatura, suelo, agua, etc. El cultivo del maíz necesita al menos de 500 a 700 mm de precipitación distribuida durante el ciclo del cultivo. Además, la falta de agua es el factor más limitante en la producción de maíz en las zonas tropicales de El Salvador. Sin embargo, el cultivo también es muy sensible al aniego o encharcamiento. 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 una amplia variedad de suelos donde puede producir buenas cosechas y; en términos generales, los suelos idóneos para el cultivo del maíz deben ser fértiles, bien drenados, profundos y con elevada capacidad de retención para el agua (CENTA, 2014).

Por otra parte, el maíz es una planta dotada de una amplia capacidad de aprovechamiento de las oportunidades que ofrece el medio ambiente, y tiene 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 generados, 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 anuales promedio 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). El precio anual promedio, hace referencia a la media obtenida de los precios de un producto durante un periodo de tiempo de 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 de tiempo en que se desarrolló la investigación. Los precios más altos, se registraron en el año 2015; llegando a \$20.03 por quintal; a su vez, los precios más bajos se registraron en el año 2017, siendo de \$12.20. Es importante 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

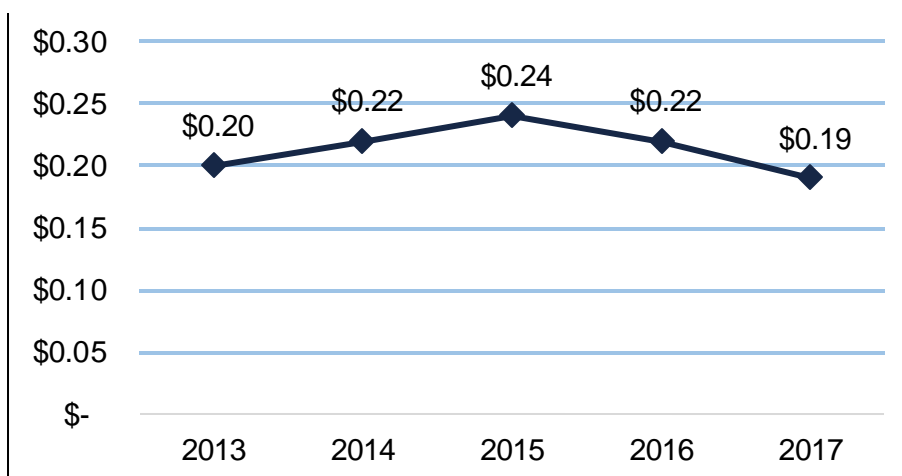
Fuente: elaboración propia a partir de los anuarios de las estadísticas de la DGEA

*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 2013-2017; con una tendencia similar a los precios de nivel mayorista. Los precios más altos, se registraron en el año 2015; alcanzando los \$0.24 por libra; a su vez, los precios más bajos se registraron en el año 2017, siendo de \$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

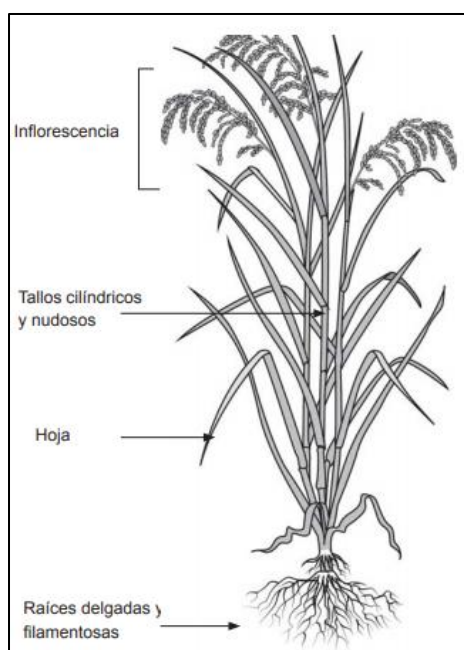
### ✓ Generalidades

El arroz (*Oryza sativa*), es un cultivo originario del sudeste asiático, principalmente de la India, de gran importancia en la canasta básica alimenticia de la población salvadoreña, ocupando el cuarto lugar de importancia entre los granos básicos. 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

Su morfología se caracteriza por poseer 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, la longitud como el número de entrenudos son caracteres varietales definidos (INATEC, 2017).

En cuanto a sus 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).

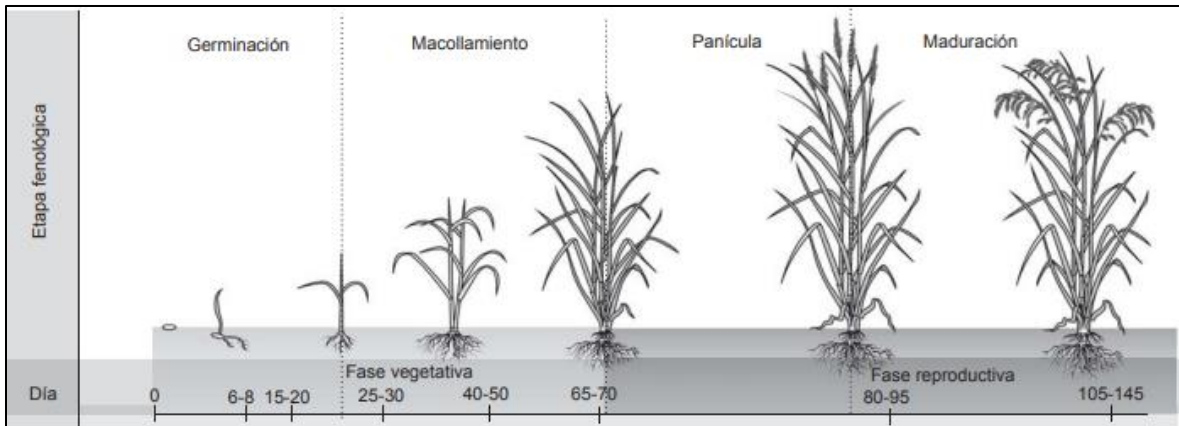


Fuente: INATEC, 2017

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 al menos de 800 a 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 m de precipitación pluvial, es necesario 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 tanto, 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 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

En cuanto a los precios anuales promedio del arroz, también se obtuvieron 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 anuales promedio del maíz han fluctuado durante el periodo de tiempo investigado. Los precios más altos, se registraron en el año 2014; alcanzando los \$40.44 por quintal; a su vez, los precios más bajos se registraron en el año 2017, siendo de \$35.40. Cabe mencionar que; al igual que en 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 de tiempo investigado:

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

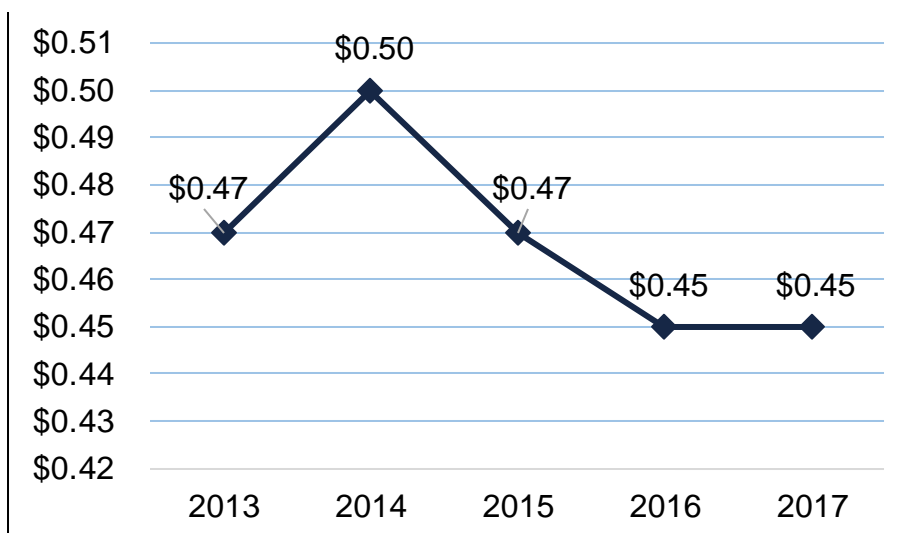
Fuente: elaboración propia a partir de los anuarios de estadísticas de la DGEA

Tabla 4. Precio anual promedio del arroz a nivel mayorista

○ Consumidor

A nivel de consumidor, los precios anuales promedio del arroz han fluctuado durante el periodo de estudio; con una tendencia similar a la de los precios a nivel mayorista. Los precios más altos, se registraron en el año 2014; llegando a \$0.50 por libra; a su vez, los precios más bajos se registraron en los años 2016 y 2017, 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

Antes de abordar los parámetros ambientales, es necesario definir y establecer la diferencia entre tiempo y clima; ya que en ocasiones estos conceptos se usan como equivalentes.

### ✓ Tiempo

De acuerdo con el Comité Regional de Recursos Hidráulicos (CRRH)<sup>3</sup>, 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.

En resumen, 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

Según la Organización Meteorológica Mundial (WMO)<sup>4</sup>, 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 WMO<sup>5</sup> 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 condicionan el clima tales como la latitud, altitud, relieve; además del tipo de suelo, distribución de tierra y agua, entre otros (Campos Aranda, 2005).

---

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

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

<sup>5</sup> [https://library.wmo.int/pmb\\_ged/wmo\\_100\\_es.pdf](https://library.wmo.int/pmb_ged/wmo_100_es.pdf)

Los parámetros ambientales incluidos en esta investigación son los siguientes:

✓ Temperatura

La temperatura es una “magnitud física que expresa el grado o nivel de calor de los cuerpos o del ambiente”<sup>6</sup>. Para el crecimiento de los diferentes cultivos, la temperatura óptima juega un rol importante en la medida que propicia las condiciones para el proceso de acumulación de materia necesaria para la fotosíntesis (Campos Aranda, 2005).

✓ Humedad relativa

La humedad relativa; según la WMO, se refiere a 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” <sup>7</sup>.

✓ Precipitación

La precipitación se refiere al “agua procedente de la atmósfera, y que en forma sólida o líquida se deposita sobre la superficie de la tierra”<sup>8</sup>. La precipitación puede manifestarse en forma de lluvia, granizo, nieve, entre otros.

Esta investigación es una propuesta de vinculación entre las áreas de economía, tecnología de información geoespacial y agronomía; se incluye un apartado de aspectos fundamentales sobre sistemas de información geográfica.

---

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

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

<sup>8</sup> 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, 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 diferentes ámbitos.

Dado lo anterior, la importancia de los SIG radica en (INEGI, 2014):

- El hecho de 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 aproximaciones 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 como: (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 Ezquerro, 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 Ezquerro, 2016).

El Geoprocusamiento 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 temperatura y humedad relativa fueron obtenidos mediante la utilización de la herramienta de ArcMap denominada Kriging; por tanto, se define este concepto como un método geoestadístico que permite generar una superficie estimada a partir de puntos dispersos con determinados valores. Este procedimiento geoestadístico permitió una investigación interactiva del comportamiento espacial de la variable o conjunto de variables estudiadas. También, se puede definir como un método de interpolación que se basa en modelos estadísticos para la producción de una superficie de predicción. El kriging es un proceso que consta de varios pasos, entre los cuales se encuentran: análisis estadístico exploratorio de los datos, modelado de variogramas y la creación de superficies<sup>9</sup>.

---

<sup>9</sup> <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/tool-reference/3d-analyst/how-kriging-works.htm>

Por tanto, la interpolación se utilizó para efectuar cálculos de los valores aproximados de temperatura y humedad relativa, conociendo los valores que estos parámetros tomaban en cada una de las 23 estaciones meteorológicas, distribuidas a nivel nacional (DLE, 2018).

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 Ezquerro, 2016).

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 inglés<sup>10</sup>) 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 Ezquerro, 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 Ezquerro, 2016, p. 67).

Técnica cuyo objeto es estudiar y definir con precisión la forma, dimensiones y posición en el espacio de un objeto cualquiera utilizando esencialmente medidas hechas sobre una o varias fotografías de ese objeto (Clavo, 1982; citado en Arozarena, Otero y Ezquerro, 2016, p. 67).

---

<sup>10</sup> National Aeronautics and Space Administration

En línea con lo anterior, 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).

Por otra parte, 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**

Por otra parte, el procesamiento de la base de datos de parámetros ambientales incluidos en esta investigación se realizó en el programa SPSS versión 24.

Inicialmente, se aborda el análisis de correlación. En este caso se debe tener en cuenta dos aspectos fundamentales: el primero, que en este análisis se hace referencia al grado de relación que existe entre dos o más variables incluidas en la investigación (Triola, 2013); y el segundo aspecto tiene que ver con el coeficiente de correlación, que es un valor entre 0 y 1, donde un valor más cercano a 1, indicará una mayor correlación entre variables (Levin y Rubin, 2010), lo cual será un indicador de las variables que pueden ser incluidas posteriormente en un modelo de regresión lineal, u otro tipo de modelo (cuadrático, cúbico, exponencial, entre otros), según la necesidad específica del estudio. El coeficiente de correlación será representado mediante la letra "R".

Por otra parte, en el análisis estadístico ejecutando regresión lineal, se encuentra el coeficiente de determinación (representado como “R<sup>2</sup>”), que será interpretado como el porcentaje de variación de la variable dependiente que puede ser explicado a partir de la variación porcentual de la variable o conjunto de variables independientes en el 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 “R<sup>2</sup> ajustado” (Anderson, Sweeney, Williams, Camm y Cochran, 2016).

Otro elemento que es considerado en este análisis es la significancia estadística, que será representada como “p”, y será el valor que indicará que tan asociados se encuentran 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, en niveles de 0.05 y 0.01, según sea el caso.

Ahora, conociendo los principales componentes de la regresión lineal, se puede definir dicha regresión como un procedimiento con el cual se introduce a un modelo una variable dependiente (a predecir), y una o más variables independientes (predictores), para determinar en qué medida los valores de la variable dependiente pueden ser predichos a partir de los valores de la variable o conjunto de variables independientes. Para el caso de la presente investigación, se ejecutaron modelos de regresión lineal múltiple, con una variable dependiente y hasta un máximo de 14 variables independientes, obteniendo ecuaciones del tipo  $f(x) = a + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n$  (Levin y Rubin, 2010).



## 2. MÉTODOS

### 2.1. Generalidades

El estudio fue de tipo descriptivo y enfoque cuantitativo, ya que se realizó una estimación económica en función de la variabilidad de parámetros ambientales, teniendo como referencia una base de datos sobre dichos parámetros para el periodo 2013-2017. La selección de las localidades dependió de los datos proporcionados por el CENTA, donde se realizaron visitas a las agencias de extensión del CENTA cercanas a cada una de la regionales de la UNAB, solicitando información sobre las zonas productoras de maíz y arroz del área geográfica de trabajo de dicha institución, y los contactos de agricultores en la zona de influencia de cada oficina; obteniendo una muestra por conveniencia, aplicando como criterios de inclusión 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.

### 2.2 Zonas de estudio

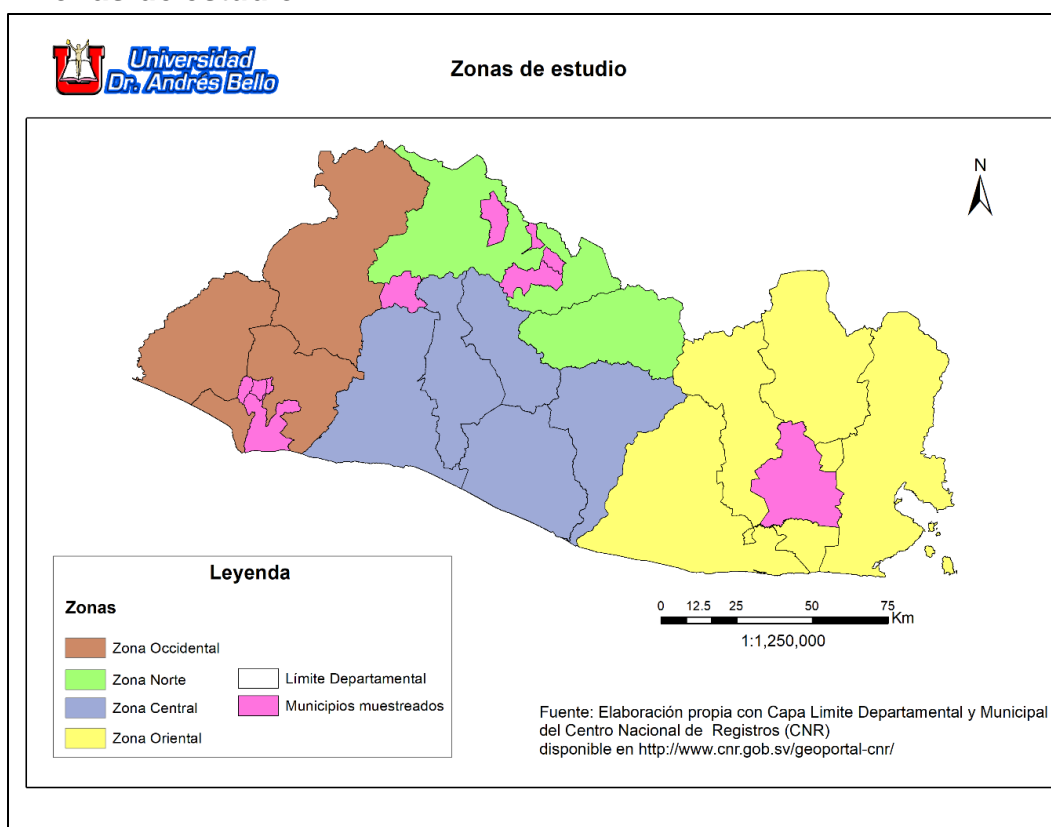
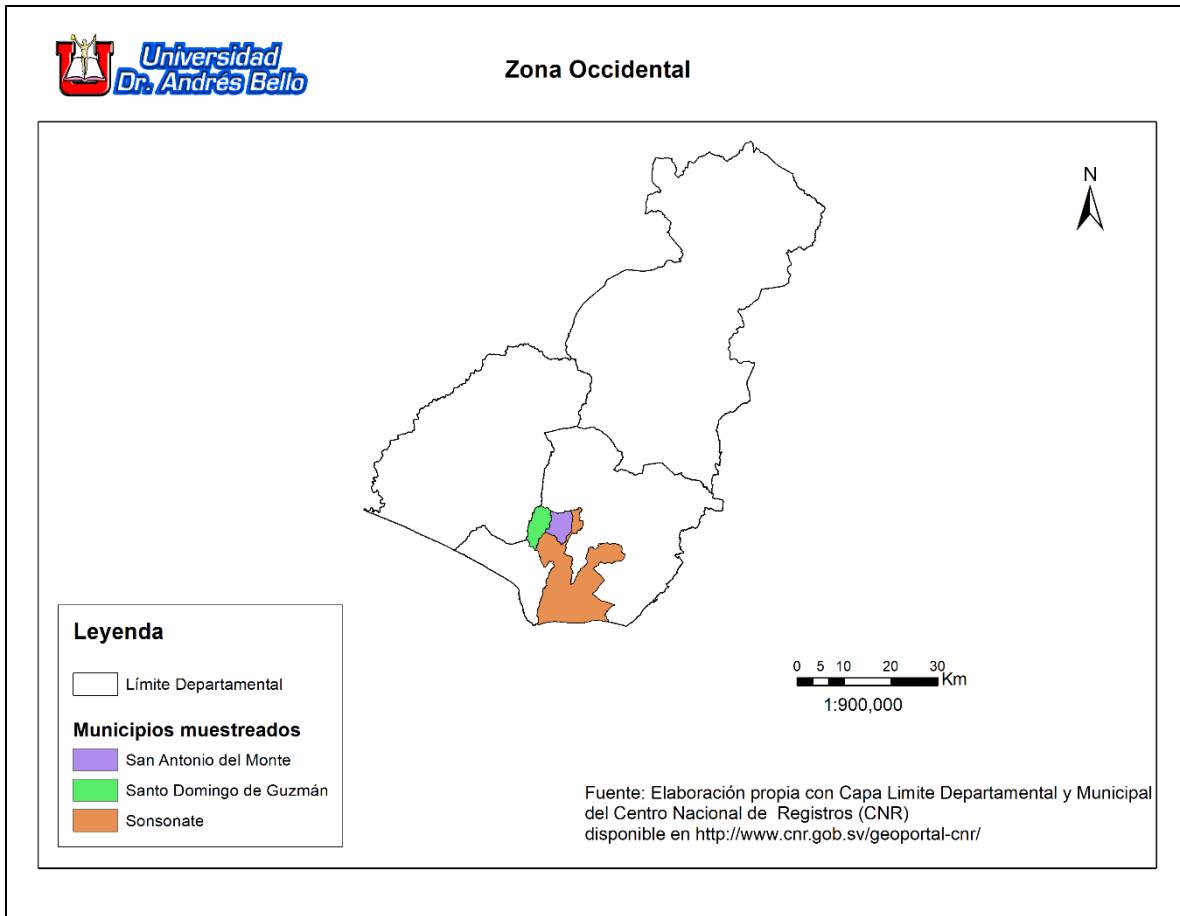


Figura 5. Mapa nacional de zonas de estudio

## 2.2.1 Zona occidental



*Figura 6. Mapa de Municipios muestreados, Zona Occidental*

Según los datos proporcionados por la Agencia de Extensión del CENTA ubicada en la cabecera departamental de Sonsonate, los municipios que cumplían con los criterios de inclusión de esta investigación fueron los siguientes:

1. San Antonio del Monte: Cantón Las Hojas.
2. Santo Domingo de Guzmán: Cantón El Carrizal y Cantón El Caulote.
3. Sonsonate: Cantón Miravalle.

## Ortomosaicos



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

*Figura 7. Ortomosaico: Hacienda Canadá, Cantón Miravalle, Municipio de Sonsonate*



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

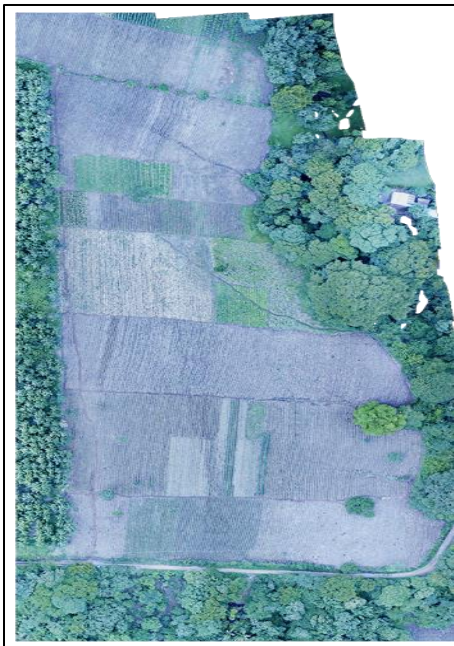
*Figura 8. Ortomosaico: Cantón Miravalle, Municipio de Sonsonate*





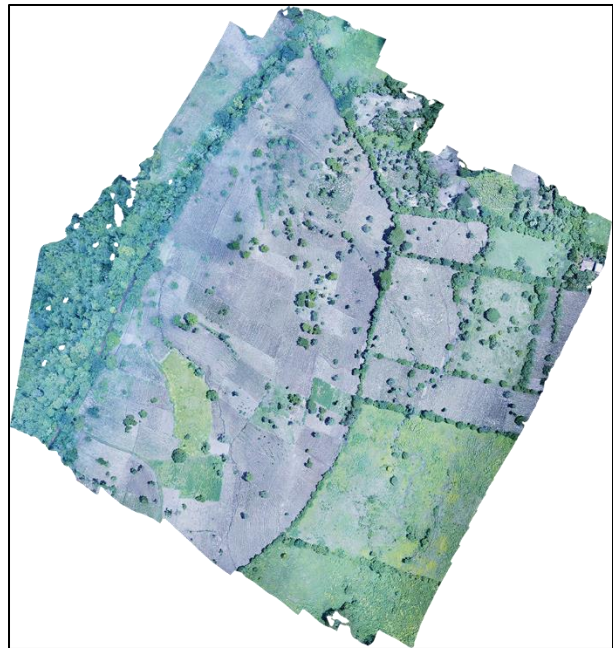
Fuente: Elaboración propia con procesamiento de imágenes de dron concesionadas.

*Figura 9. Ortomosaico: Cantón El Carrizal, Municipio de Santo Domingo de Guzmán*



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

*Figura 10. Ortomosaico: Cantón Las Hojas, Municipio de San Antonio del Monte*



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

*Figura 11. Ortomosaico: Cantón El Caulote, Municipio de Santo Domingo de Guzmán.*

## 2.2.2 Zona norte

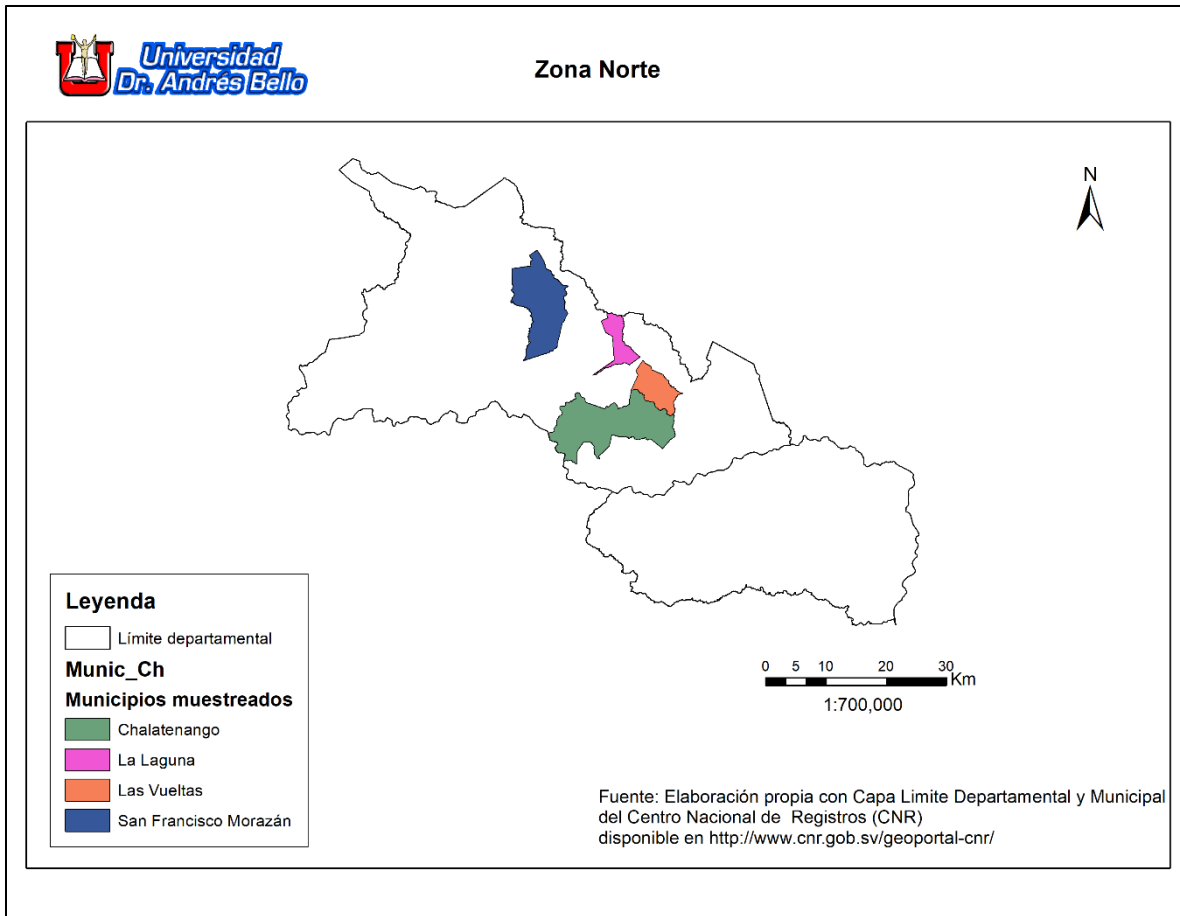


Figura 12. Mapa de Municipios muestreados, Zona Norte

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.

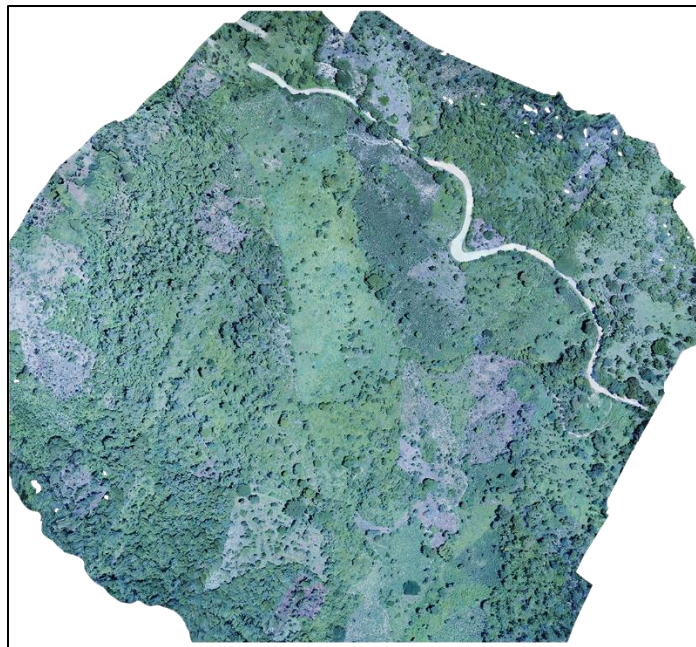


## Ortomosaicos



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

*Figura 13. Ortomosaico 1: Cantón La Cuchilla, municipio de La Laguna*



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

*Figura 14. Ortomosaico 2: cantón La Cuchilla, Municipio de La Laguna*



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

*Figura 15. Ortomosaico 1: cantón Upatoro, municipio de Chalatenango*



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

*Figura 16. Ortomosaico 2: cantón Upatoro, municipio de Chalatenango*



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

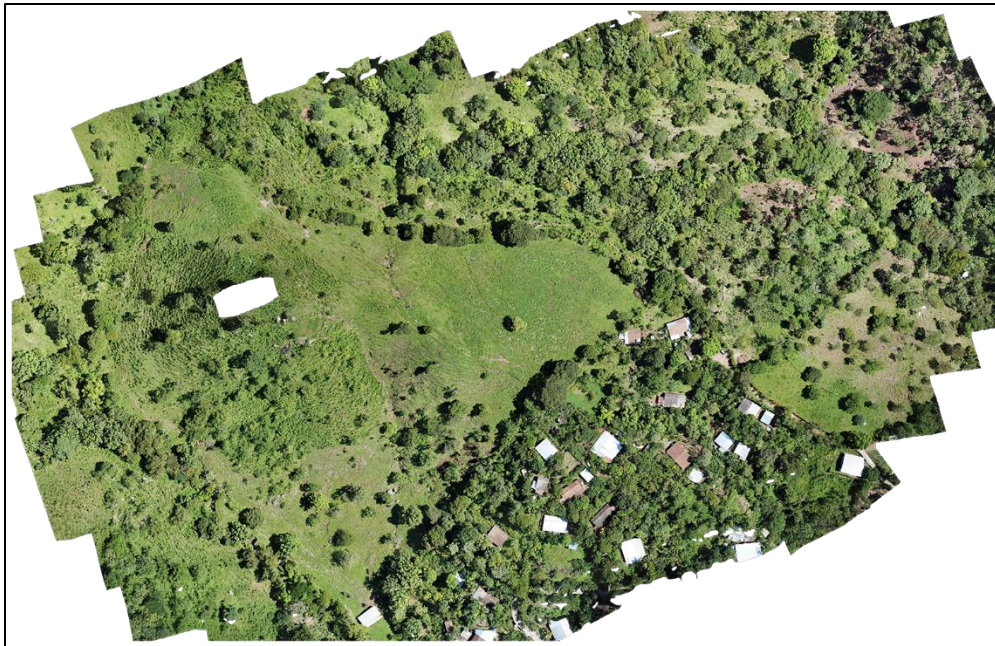
*Figura 17. Ortomosaico: Cantón Upatoro, municipio de Chalatenango*





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

*Figura 18. Ortomosaico: zona periurbana, municipio de San Francisco Morazán*



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

*Figura 19. Ortomosaico: zona periurbana, municipio de Las Vueltas*



### 2.2.3 Zona central

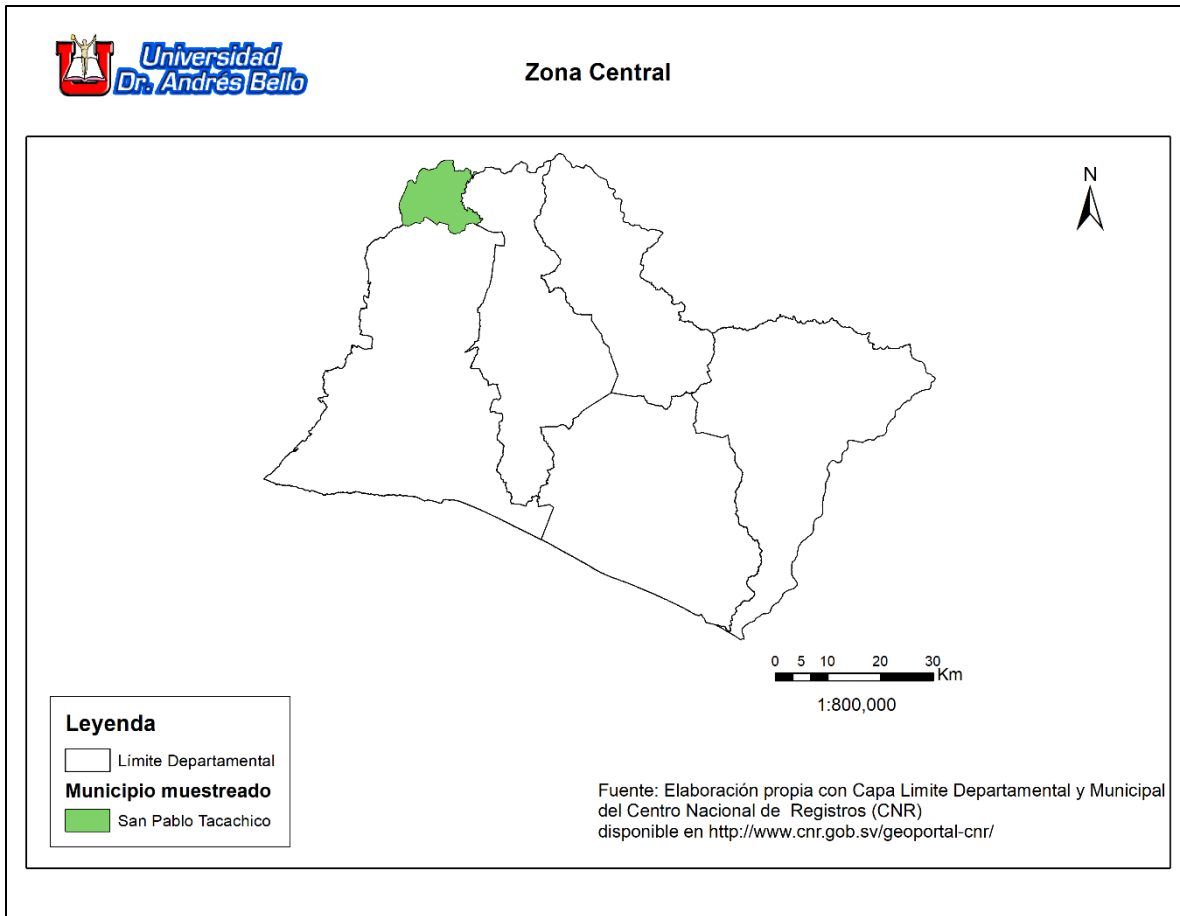


Figura 20. Mapa de Municipio muestreado, Zona Central

En este caso, por la información obtenida en la oficina del CENTA ubicada en Ciudad Arce, y por conocimiento de la zona, se visitó el cantón Atiocoyo, del Municipio de San Pablo Tacachico, pues en la zona se produce tanto maíz como arroz.

## Ortomosaicos



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

*Figura 21. Ortomosaico 1: cantón Atiococho, municipio de San Pablo Tacachico*



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

*Figura 22. Ortomosaico 2: cantón Atiococho, municipio de San Pablo Tacachico*



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

*Figura 23. Ortomosaico 3: cantón Atiococho, municipio de San Pablo Tacachico*

## 2.2.4 Zona oriental

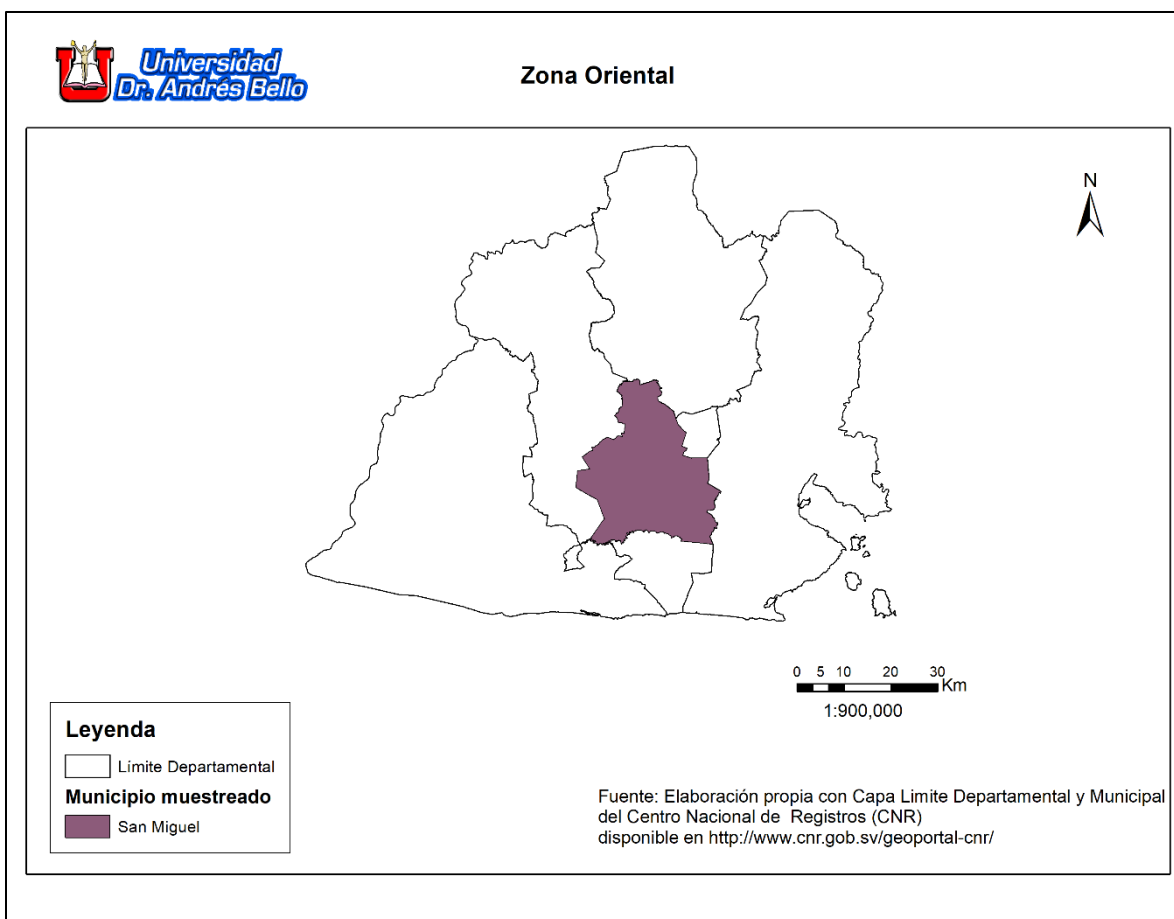


Figura 24. Mapa de Municipio muestreado, Zona Oriental

En el municipio de San Miguel se identificaron algunos cantones como referentes en la producción de maíz, según la información obtenida en el CENTA, a través de la Agencia de Extensión del municipio mencionado.

Los cantones visitados y cantidad de vuelos con dron realizados en cada uno se detallan a continuación.

1. Cantón El Brazo, se realizaron dos vuelos con dron.
2. Cantón Miraflores, fueron realizados cuatro vuelos.
3. Cantón El Volcán, ejecutado únicamente un vuelo con dron.



## Ortomosaicos



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

*Figura 25. Ortomosaico 1: caserío Casamota, cantón El Brazo, municipio de San Miguel*



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

*Figura 26. Ortomosaico 2: caserío Casamota, cantón El Brazo, municipio de San Miguel*



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

*Figura 27. Ortomosaico 1: cantón Miraflores, municipio de San Miguel*



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

*Figura 28. Ortomosaico 2: cantón Miraflores, municipio de San Miguel*





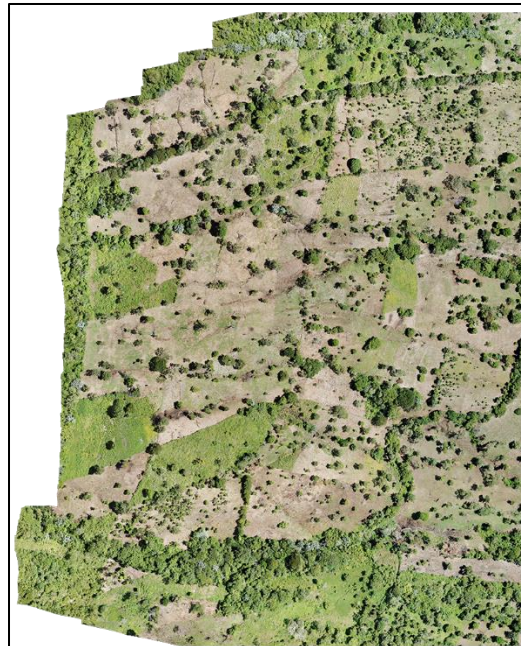
Fuente: Elaboración propia con procesamiento de imágenes de dron concesionadas.

*Figura 29. Ortomosaico 3: cantón Miraflores, municipio de San Miguel*



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

*Figura 30. Ortomosaico 4: cantón Miraflores, municipio de San Miguel*

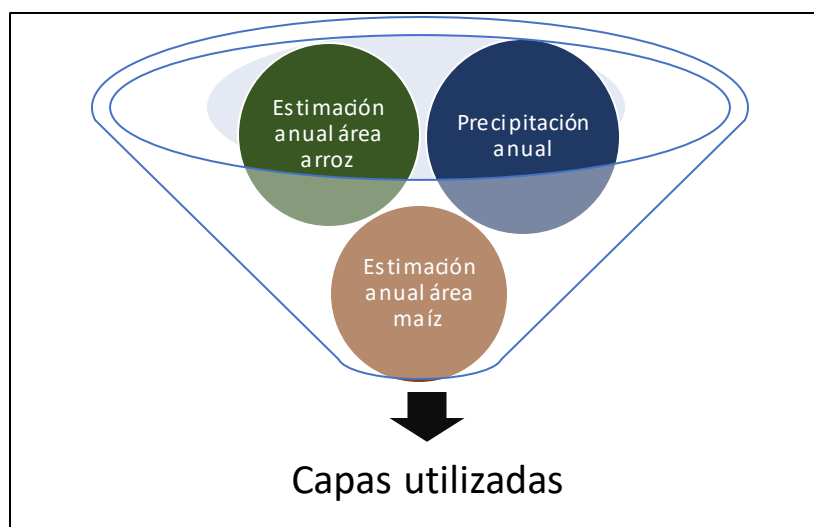


Fuente: Elaboración propia con procesamiento de imágenes de dron concesionadas.

*Figura 31. Ortomosaico 1: caserío Las Lomitas, cantón El Volcán, Municipio de San Miguel*

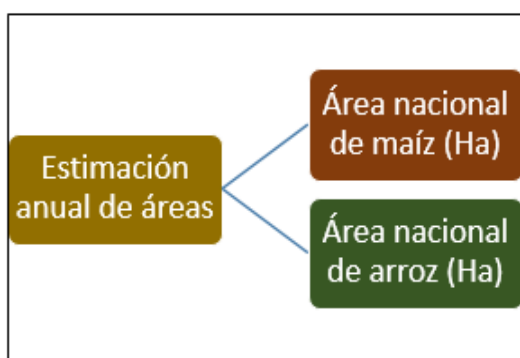
## 2.3 Insumos utilizados

### 2.3.1 Capas vectoriales (proyecto de tecnología UNAB 2018).



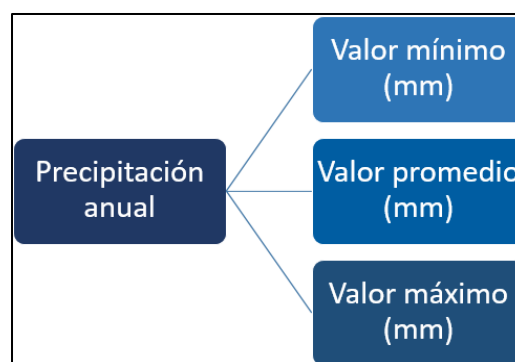
Fuente: Elaboración propia.

Figura 32. Capas vectoriales utilizadas



Fuente: Elaboración propia

Figura 33. Estimación anual de áreas por cultivo



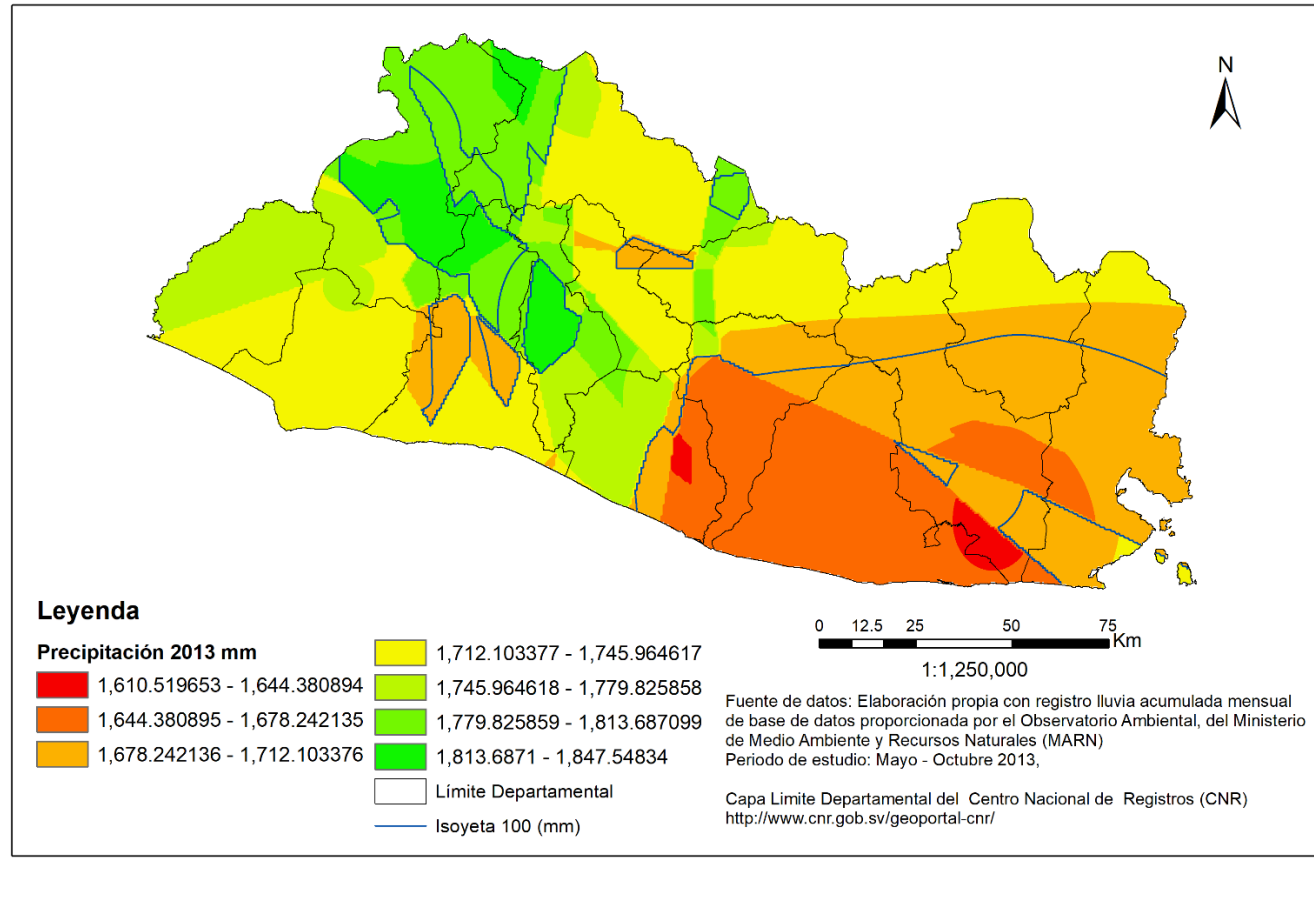
Fuente: Elaboración propia

Figura 34. Valores de precipitación anual

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 datos de precipitación fueron útiles para determinar valores mínimos, máximos y promedios de lluvia para cada año, para comprender hasta qué punto la variación en precipitación implica una variación en área cultivada; y por tanto, una variación en la producción de los granos básicos incluidos en esta investigación.

**Mapa de Precipitación  
Año 2013**

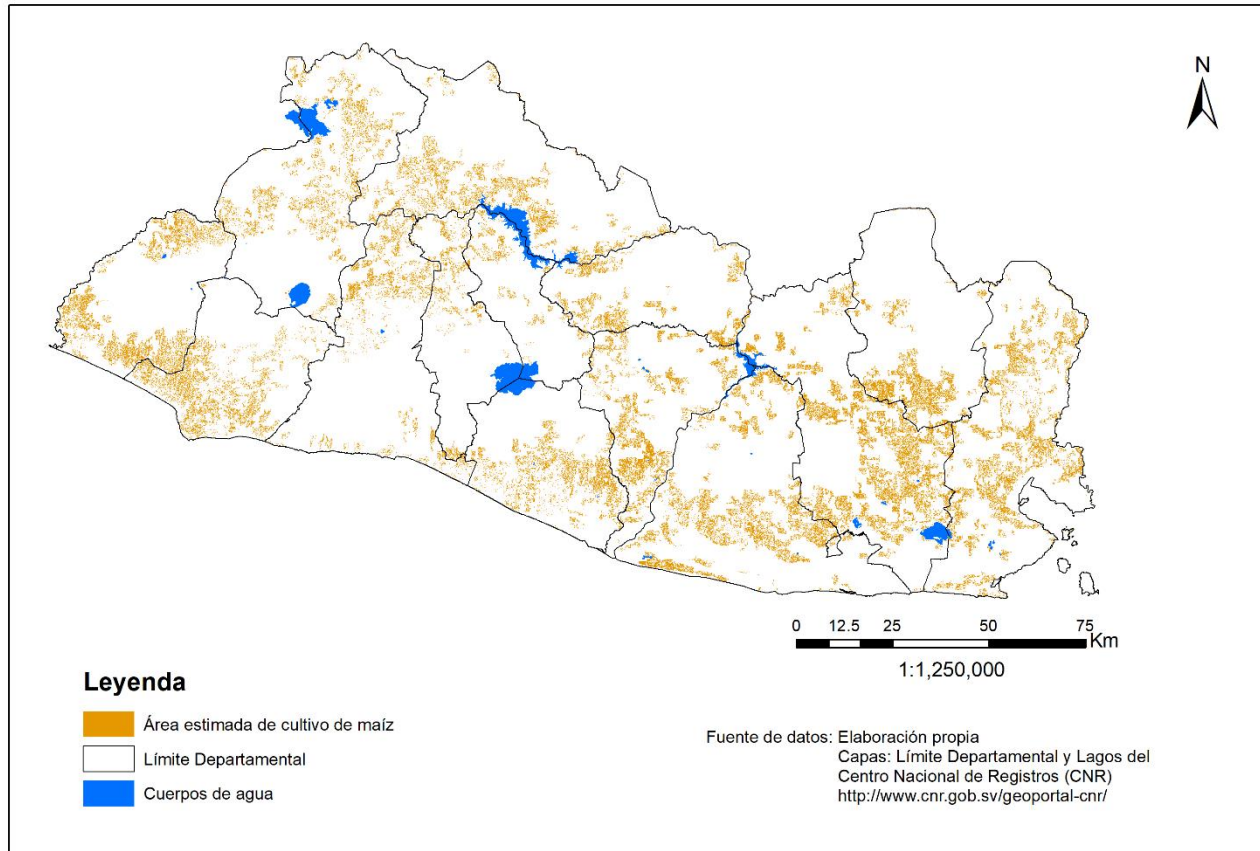


Fuente: Tomado de Rivas, Martínez, Escuintla, Monterroza y Cano, 2019, pp.41

*Figura 35. Mapa nacional de precipitación, 2013*



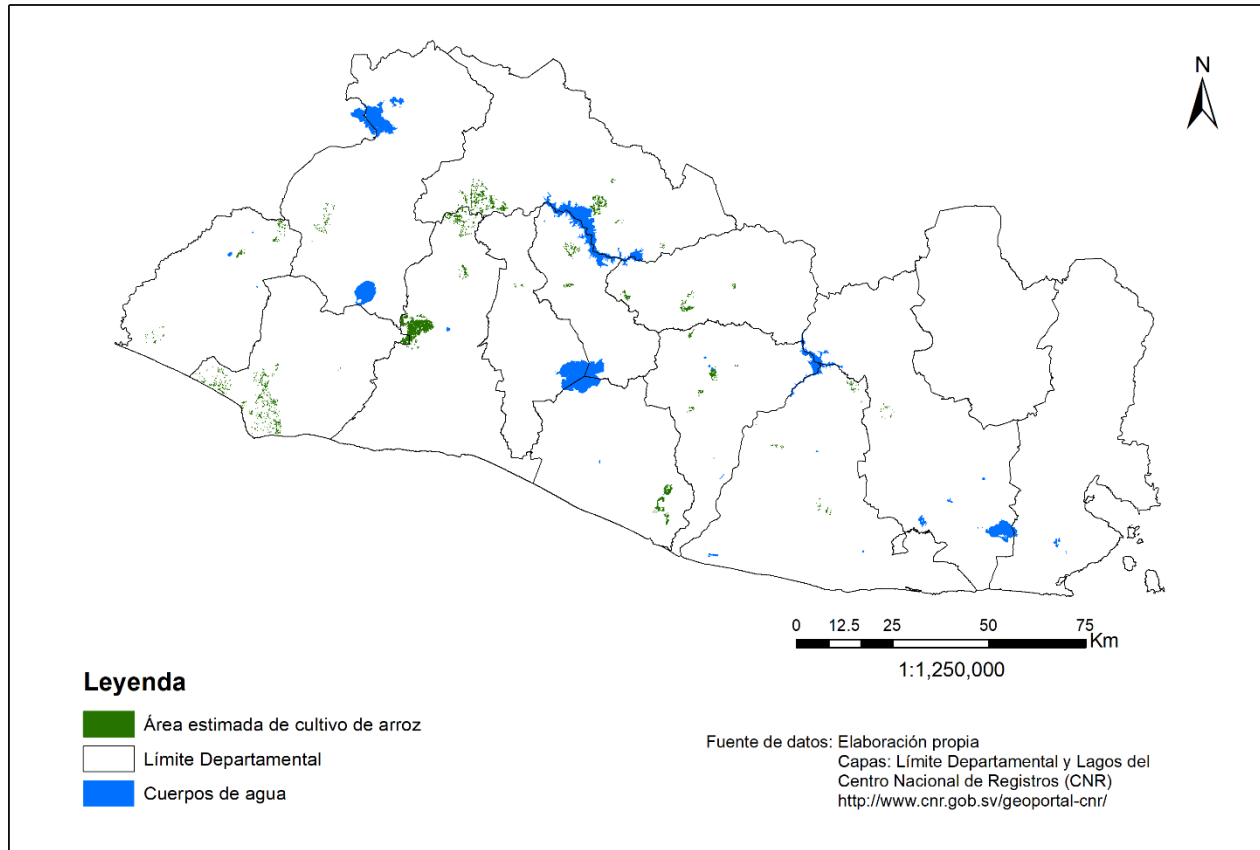
Área estimada cultivo de maíz  
El Salvador  
Año 2013



Fuente: Tomado de Rivas et al, 2019, pp.42

Figura 36. Mapa nacional, área estimada cultivo maíz, 2013

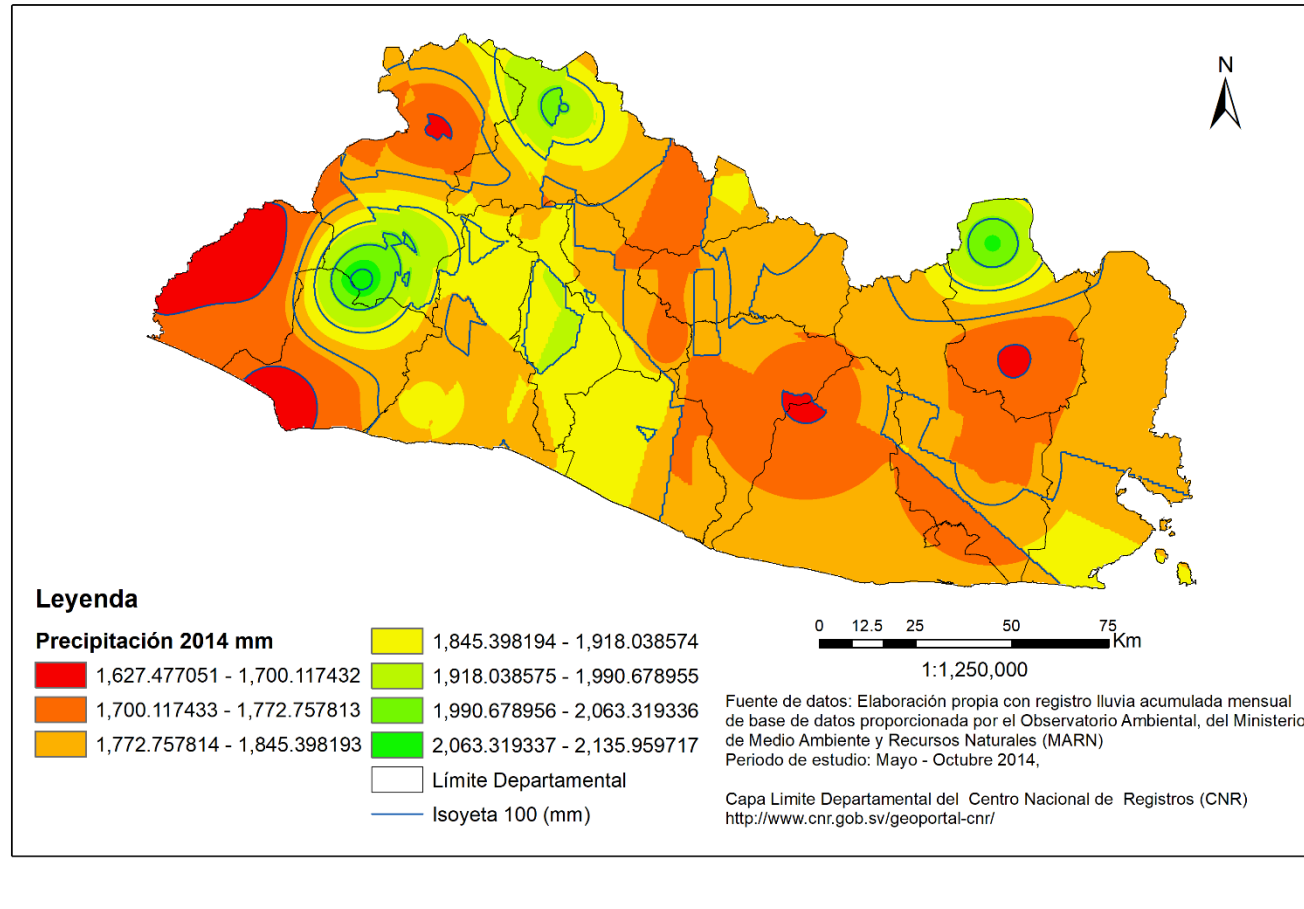
**Área estimada cultivo de arroz  
El Salvador  
Año 2013**



Fuente: Tomado de Rivas et al, 2019, pp.43

*Figura 37. Mapa nacional, área estimada cultivo de arroz, 2013*

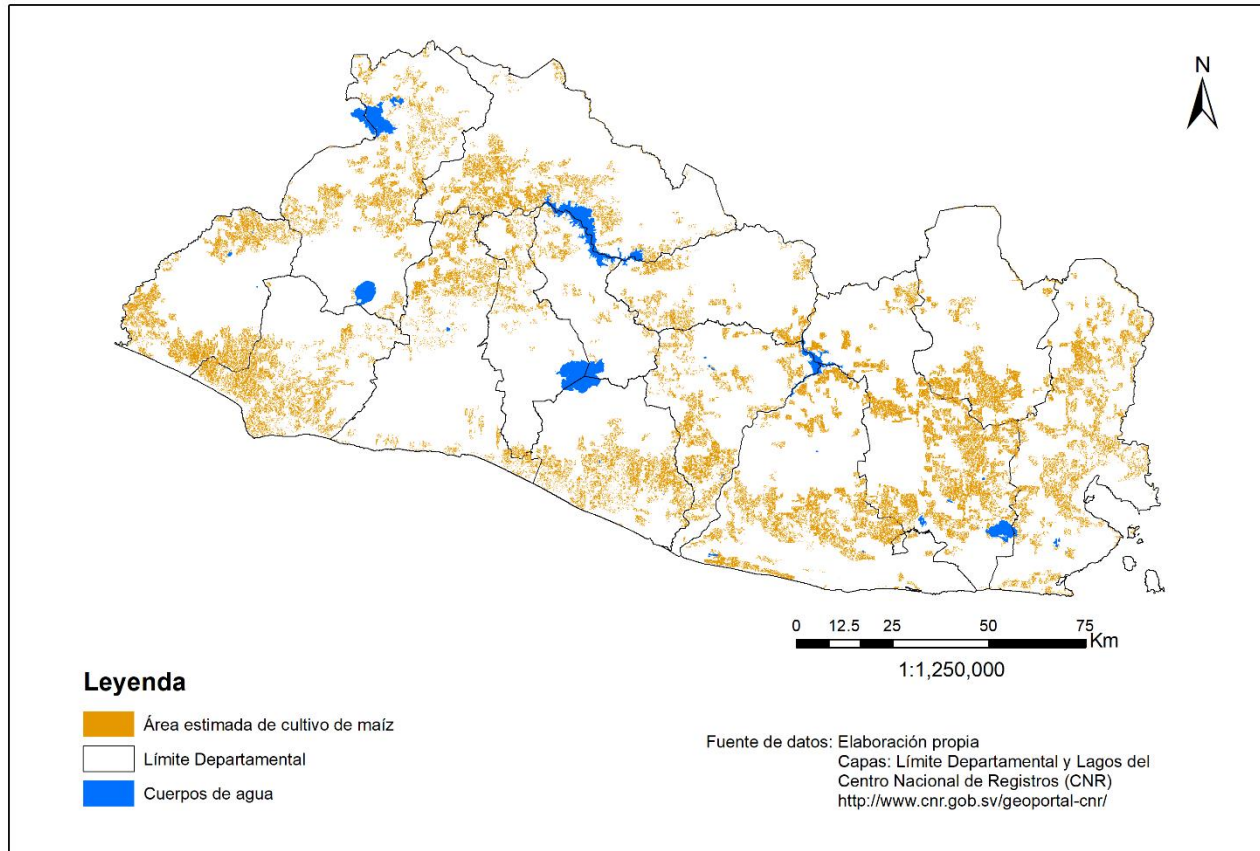
**Mapa de Precipitación  
Año 2014**



Fuente: Tomado de Rivas et al, 2019, pp.60

*Figura 38. Mapa nacional de precipitación, 2014*

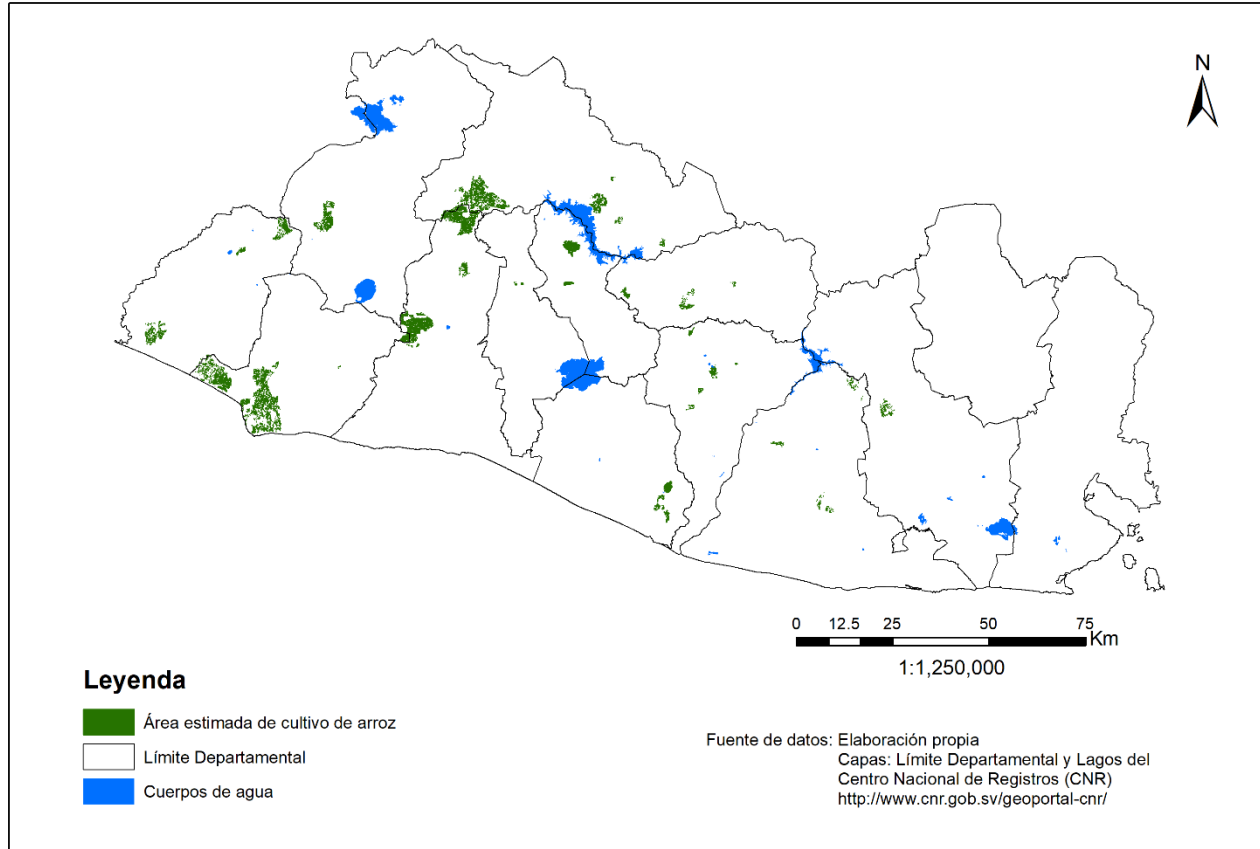
**Área estimada cultivo de maíz  
El Salvador  
Año 2014**



Fuente: Tomado de Rivas et al, 2019, pp.61

*Figura 39. Mapa nacional, área estimada cultivo maíz, 2014*

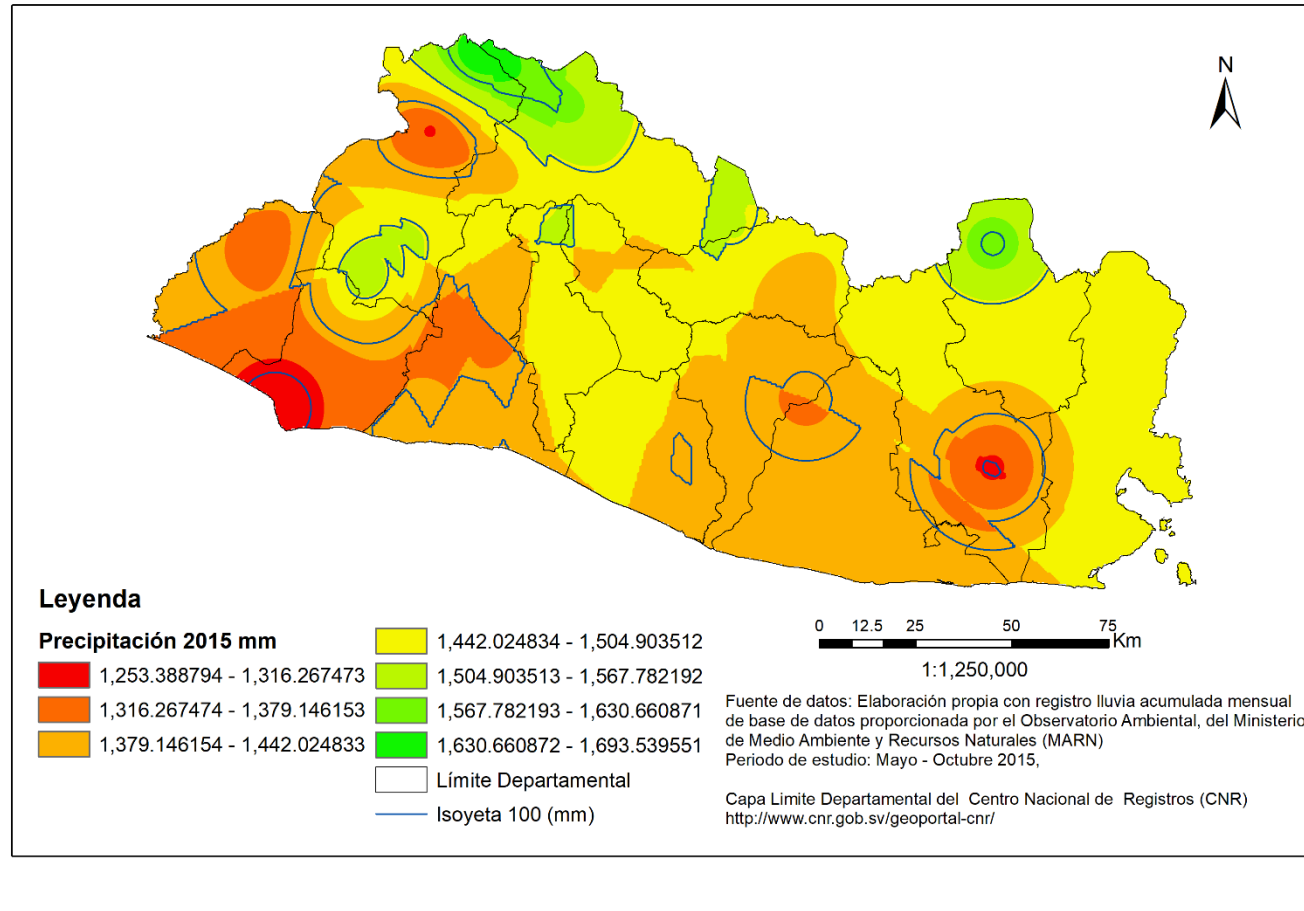
**Área estimada cultivo de arroz  
El Salvador  
Año 2014**



Fuente: Tomado de Rivas et al, 2019, pp.62

*Figura 40. Mapa nacional, área estimada cultivo de arroz, 2014*

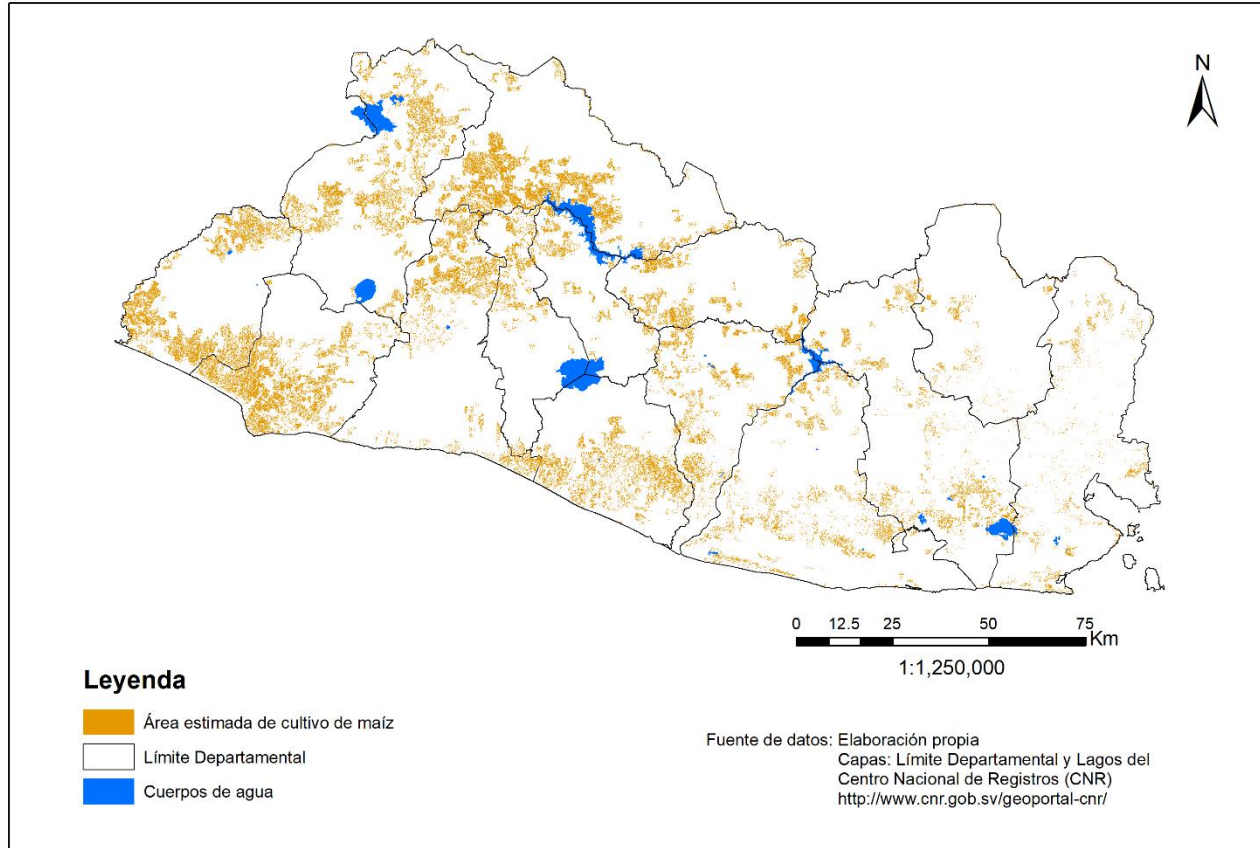
**Mapa de Precipitación  
Año 2015**



Fuente: Tomado de Rivas et al, 2019, pp.79

*Figura 41. Mapa nacional de precipitación, 2015*

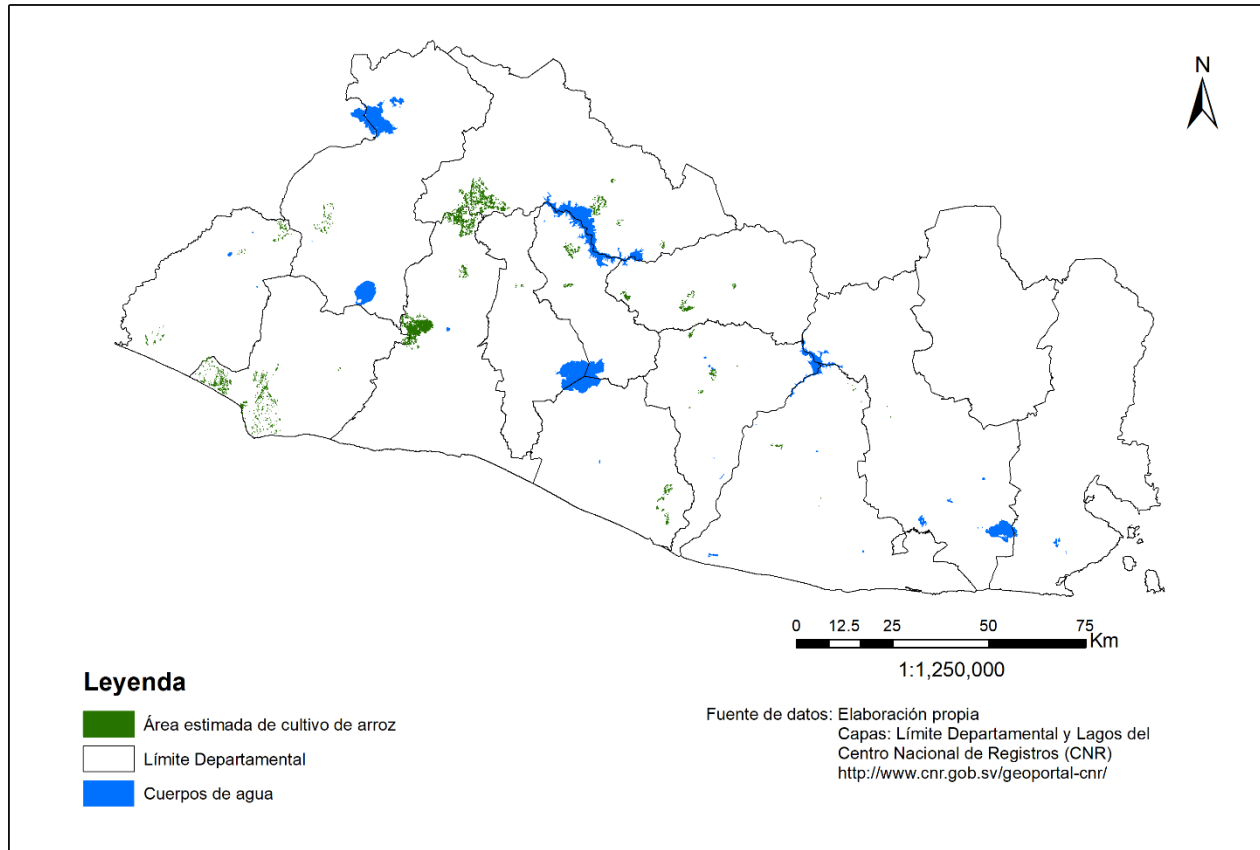
**Área estimada cultivo de maíz  
El Salvador  
Año 2015**



Fuente: Tomado de Rivas et al, 2019, pp.80

Figura 42. Mapa nacional, área estimada cultivo de maíz, 2015

**Área estimada cultivo de arroz  
El Salvador  
Año 2015**

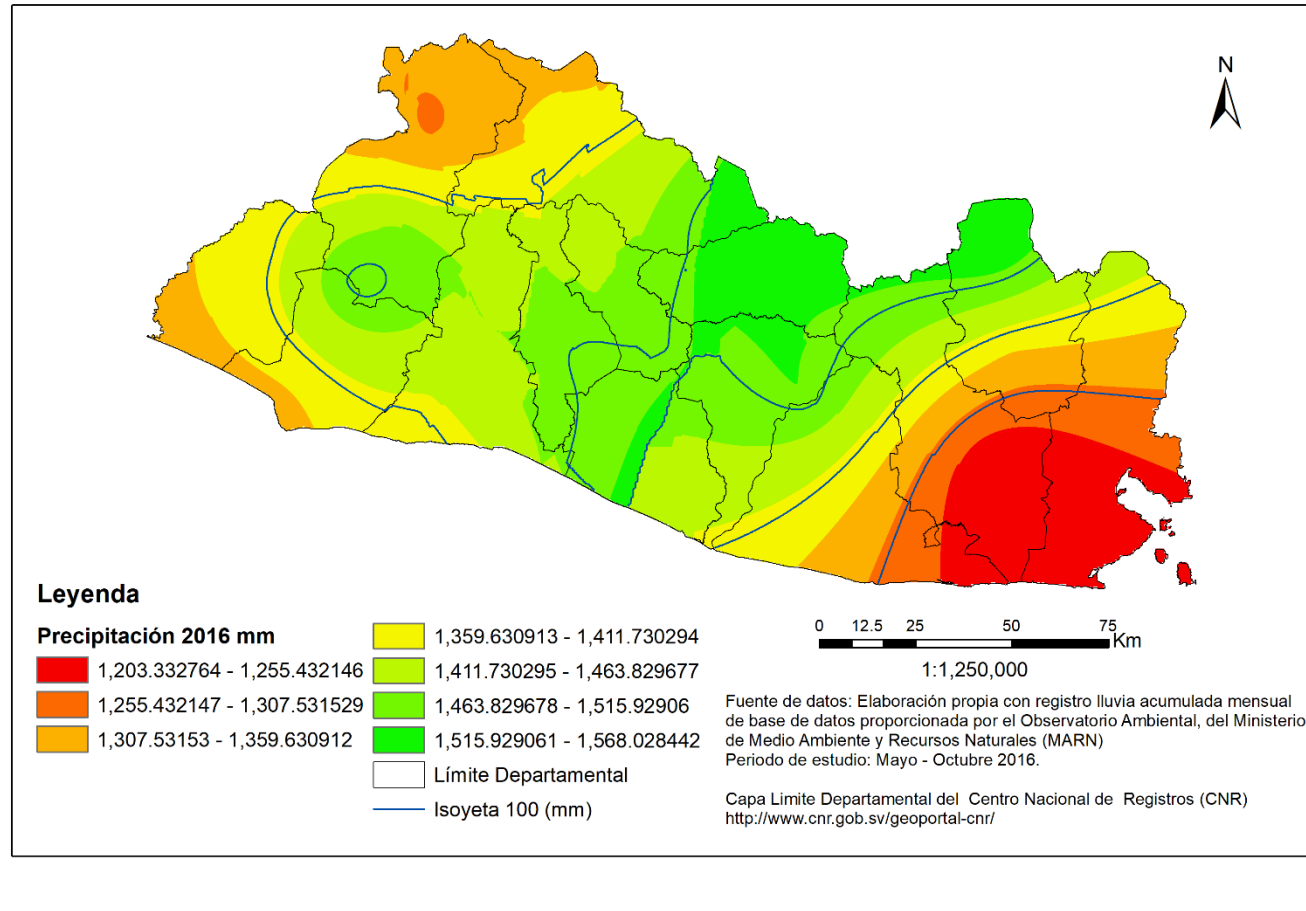


Fuente: Tomado de Rivas et al, 2019, pp.81

*Figura 43. Mapa nacional, área estimada cultivo de arroz, 2015*



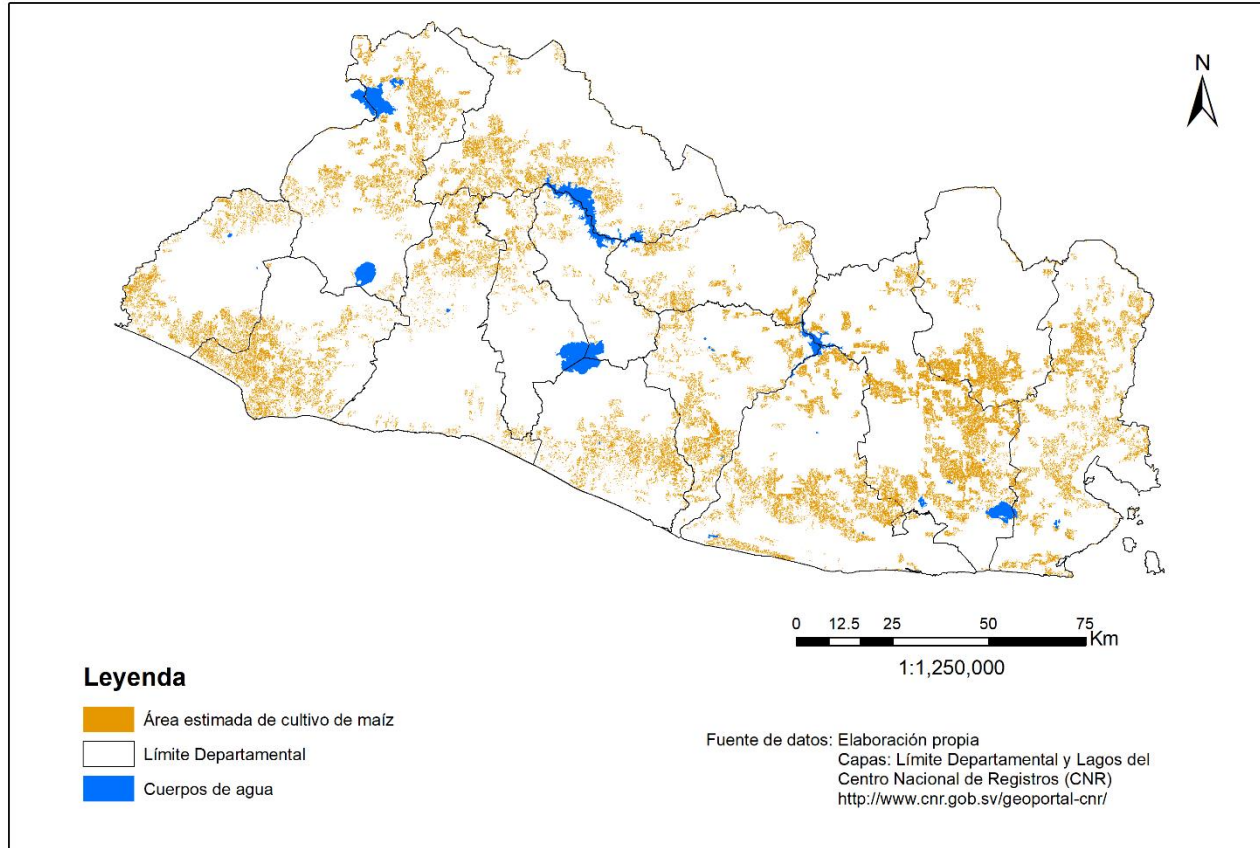
**Mapa de Precipitación  
Año 2016**



Fuente: Tomado de Rivas et al, 2019, pp.98

*Figura 44. Mapa nacional de precipitación, 2016*

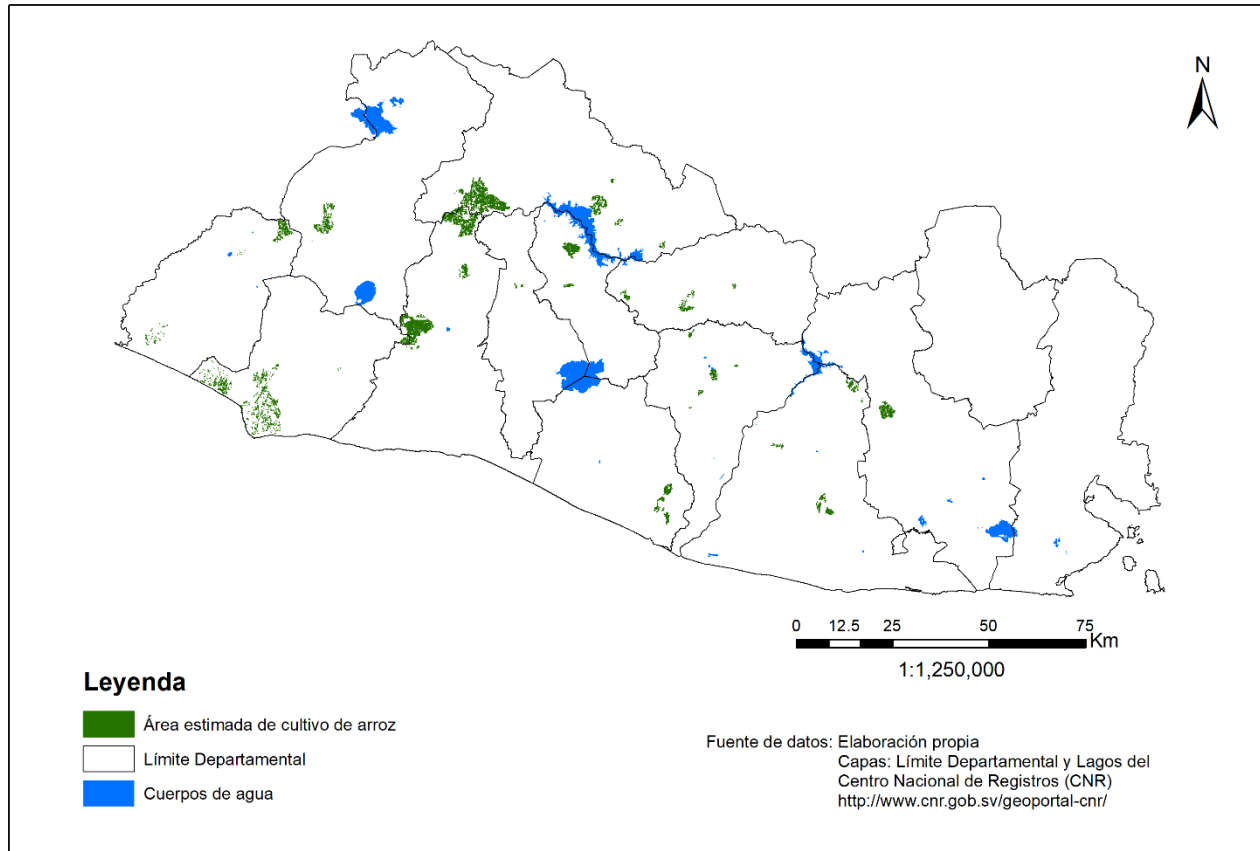
**Área estimada cultivo de maíz  
El Salvador  
Año 2016**



Fuente: Tomado de Rivas et al, 2019, pp.99

*Figura 45. Mapa nacional, área estimada cultivo de maíz, 2016*

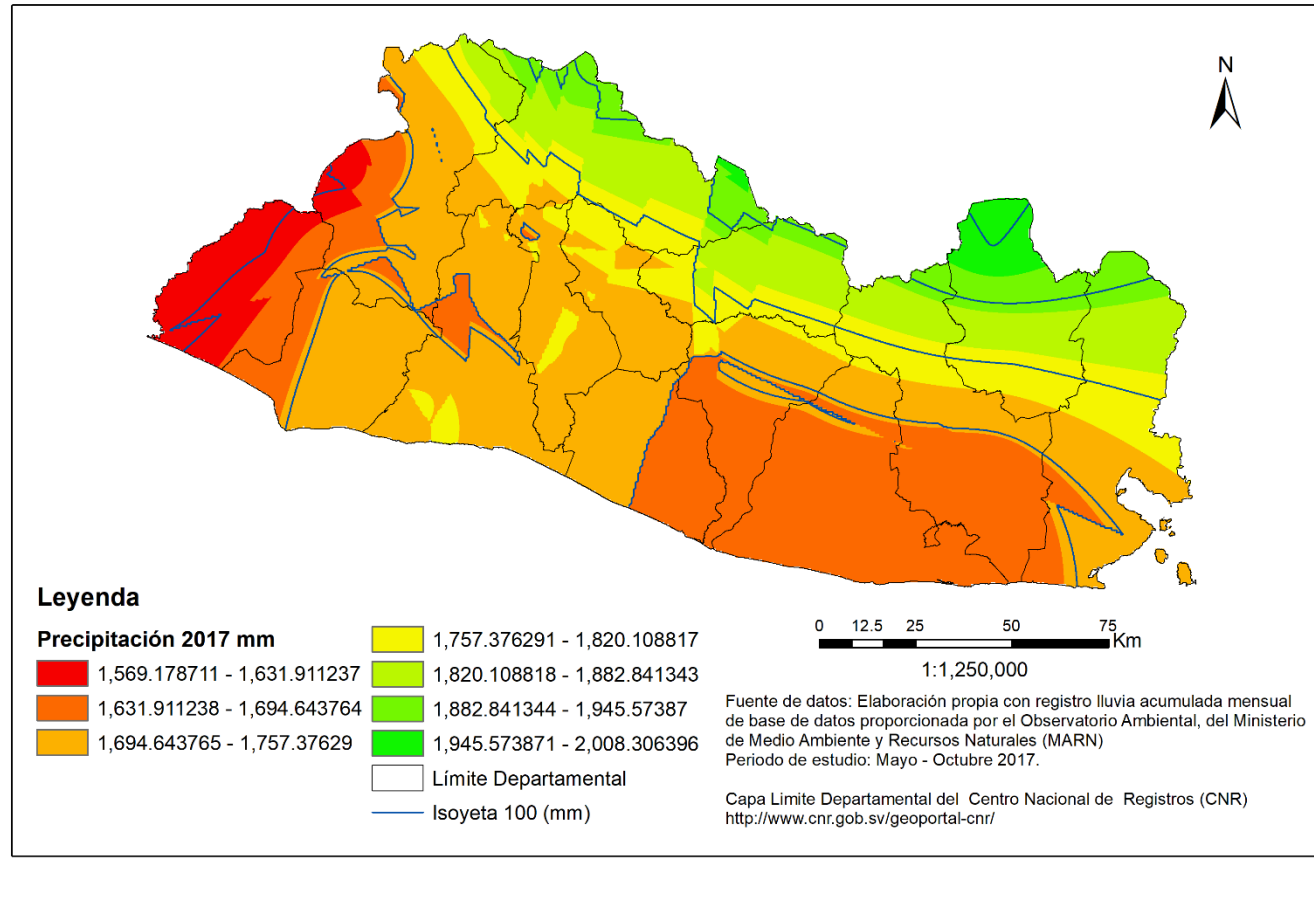
**Área estimada cultivo de arroz  
El Salvador  
Año 2016**



Fuente: Tomado de Rivas et al, 2019, pp.100

*Figura 46. Mapa nacional, área estimada cultivo de arroz, 2016*

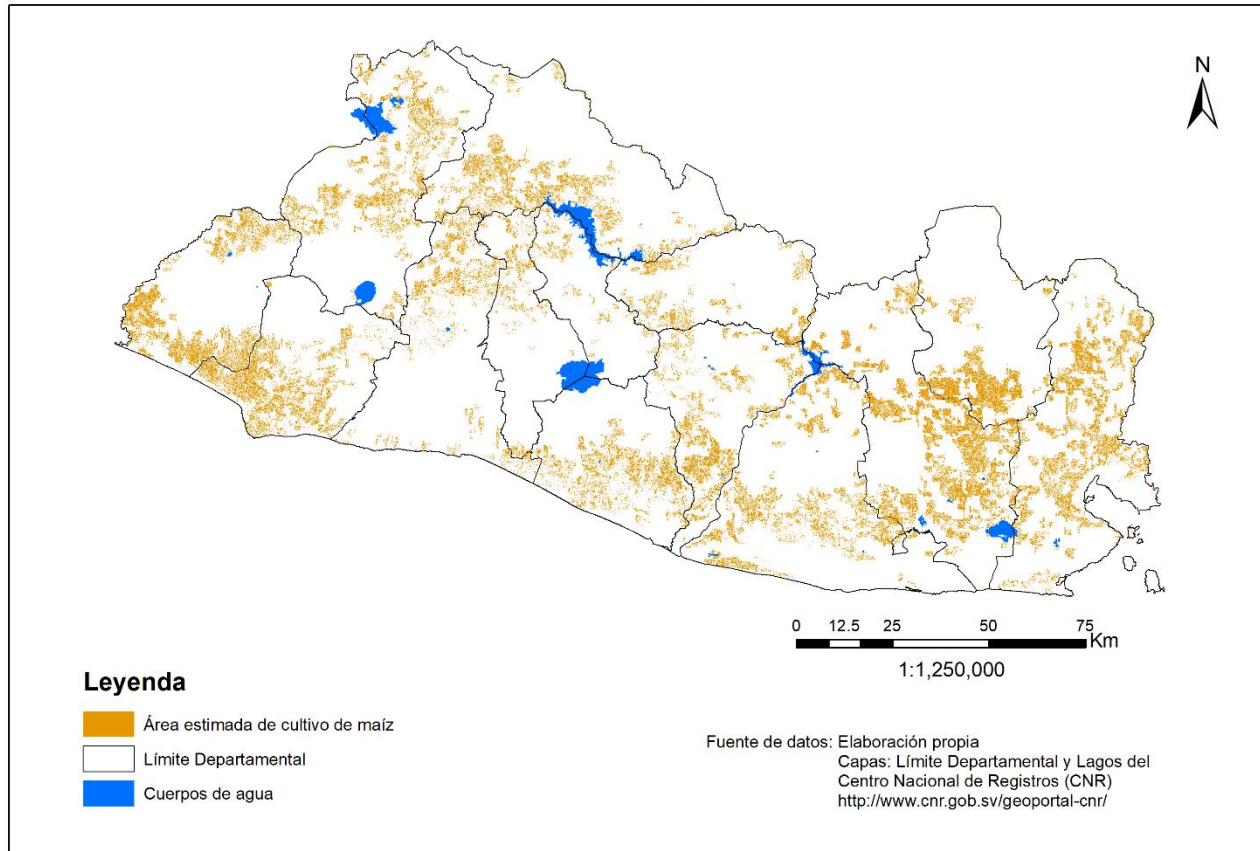
**Mapa de Precipitación  
Año 2017**



Fuente: Tomado de Rivas et al, 2019, pp.117

*Figura 47. Mapa nacional de precipitación, 2017*

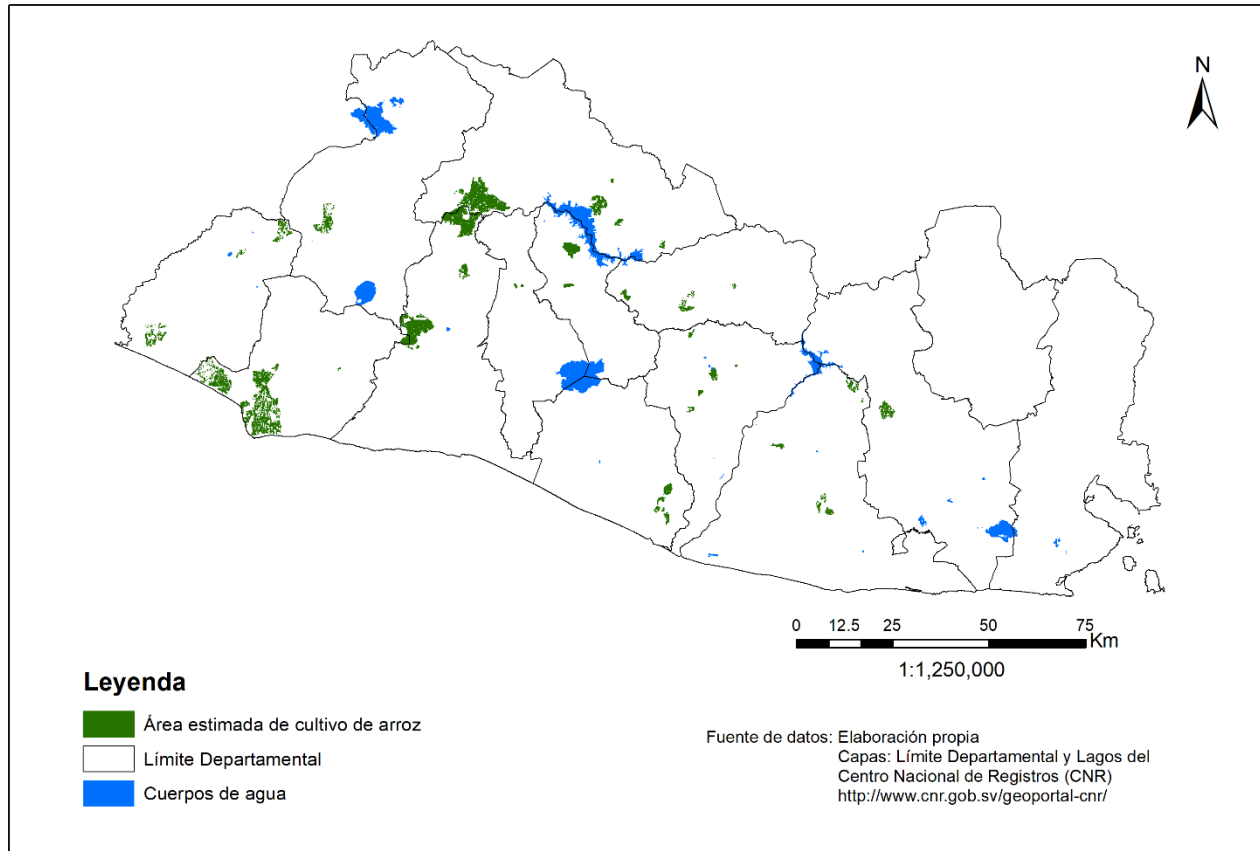
**Área estimada cultivo de maíz  
El Salvador  
Año 2017**



Fuente: Tomado de Rivas et al, 2019, pp.118

*Figura 48. Mapa nacional, área estimada cultivo de maíz, 2017*

**Área estimada cultivo de arroz**  
**El Salvador**  
**Año 2017**



Fuente: Tomado de Rivas et al, 2019, pp.119

*Figura 49. Mapa nacional, área estimada cultivo de arroz, 2017*

### **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 2013-2017.**

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 dos estaciones; logrando realizar el análisis estadístico con 23 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 2017, de las cuales se eliminaron 2, 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 23 estaciones meteorológicas.

#### **2.4.1.2 Cálculo de valores anuales de parámetros ambientales**

Ya que los valores de los datos de las 23 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 “kriging”, con la cual se obtuvo capas ráster tanto de temperatura como de humedad relativa, mediante el uso de la capa vectorial de las estaciones meteorológicas, y teniendo como área de delimitación la capa vectorial de polígonos de límites departamentales del CNR. Básicamente la interpolación fue útil para obtener los valores máximos, mínimos, promedios de temperatura y humedad relativa a nivel nacional, para cada año del periodo de estudio

#### 2.4.1.5 Procesamiento estadístico

La base de datos de parámetros ambientales fue sometida al procedimiento de regresión lineal en dos grandes grupos: el primer grupo consta de regresión lineal anual para el periodo de estudio, obteniendo el coeficiente de correlación y coeficiente de determinación, además de la significancia; siendo los dos primeros los que explican que tan relacionada está la variable dependiente con las variables independientes y por otra parte, el porcentaje de variación de la variable dependiente que puede ser explicado a partir de una variación en el conjunto de variables independientes, respectivamente; además de conocer el nivel de significancia en 0.05 o 0.01. El segundo grupo está compuesto por regresión lineal para el periodo 2013-2014, en una aproximación por utilizar todos los registros de dicho periodo de tiempo, para tratar de predecir los valores de precipitación del año 2015; por otra parte, regresión lineal para los años desde 2013 hasta 2016, prediciendo la precipitación de 2017.



#### **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, y a continuación se realizó la sumatoria, para obtener el área total a nivel nacional.

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 “kriging”), 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 (ver tabla 1), se obtuvo un rendimiento promedio de 80.83 qq/mz (quintales por manzana) tomando como referencia el rendimiento mínimo de cada variedad, lo cual fue 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 (ver tabla 3) 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 (ver tablas 2 y 4) fueron tomados de los anuarios de estadísticas agropecuaria de la DGEA del MAG.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Nacional

En este apartado se presentan los mapas de temperatura y humedad relativa a nivel de país. Cada mapa presenta su leyenda, que es útil para la interpretación gráfica, siendo representados con color verde los valores más bajos y con color rojo los valores más altos (esto aplica para todos los mapas presentados en este informe).

Para obtener los valores mínimos, máximos y promedios tanto de temperatura como de humedad relativa de cada año, se ejecutó el método “kriging”, que no es más que una interpolación a partir de una capa de puntos con la ubicación de las estaciones meteorológicas del MARN a nivel nacional, con los valores anuales de cada parámetro ambiental en cuestión.

Como se puede comprobar en los mapas, y tal como se verificó con el análisis de correlación, la temperatura y la humedad relativa guardan una relación inversamente proporcional, tal como lo indican los coeficientes de correlación para cada año:  $R = -0.419$  y  $\text{sig.} = 0.047$  (2013),  $R = -0.636$  y  $\text{sig.} = 0.001$  (2014),  $R = -0.693$  y  $\text{sig.} = 0.0002$  (2015),  $R = -0.554$  y  $\text{sig.} = 0.006$  (2016),  $R = -0.639$  y  $\text{sig.} = 0.001$  (2017).

Posteriormente se presentan modelos de regresión lineal, para comprender el comportamiento de los parámetros: precipitación, temperatura y humedad relativa; agregando las variables latitud y metros sobre el nivel del mar (msnm), ya que, según el análisis de correlación, estas dos últimas variables presentan relación con los parámetros ambientales incluidos en la investigación. Dichos modelos de regresión lineal pueden subdividirse en dos grupos: los anuales y los que abarcan los periodos 2013-2014 y 2013-2016, para tratar de predecir la precipitación en los años 2015 y 2017 respectivamente, estos dos últimos modelos se realizaron luego de ejecutar el análisis de correlación.

Por otra parte, se analiza la variación porcentual anual de: los parámetros ambientales, el área por cada cultivo, el precio a nivel mayorista y a nivel de consumidor final; ilustrado mediante gráficos.

Finalmente, se presenta la estimación económica de la producción por cada cultivo, evidenciando claramente el efecto en la variación de los parámetros ambientales, sobre todo en el año 2015, donde hubo sequía.

### 3.1.1 Mapas nacionales de temperatura

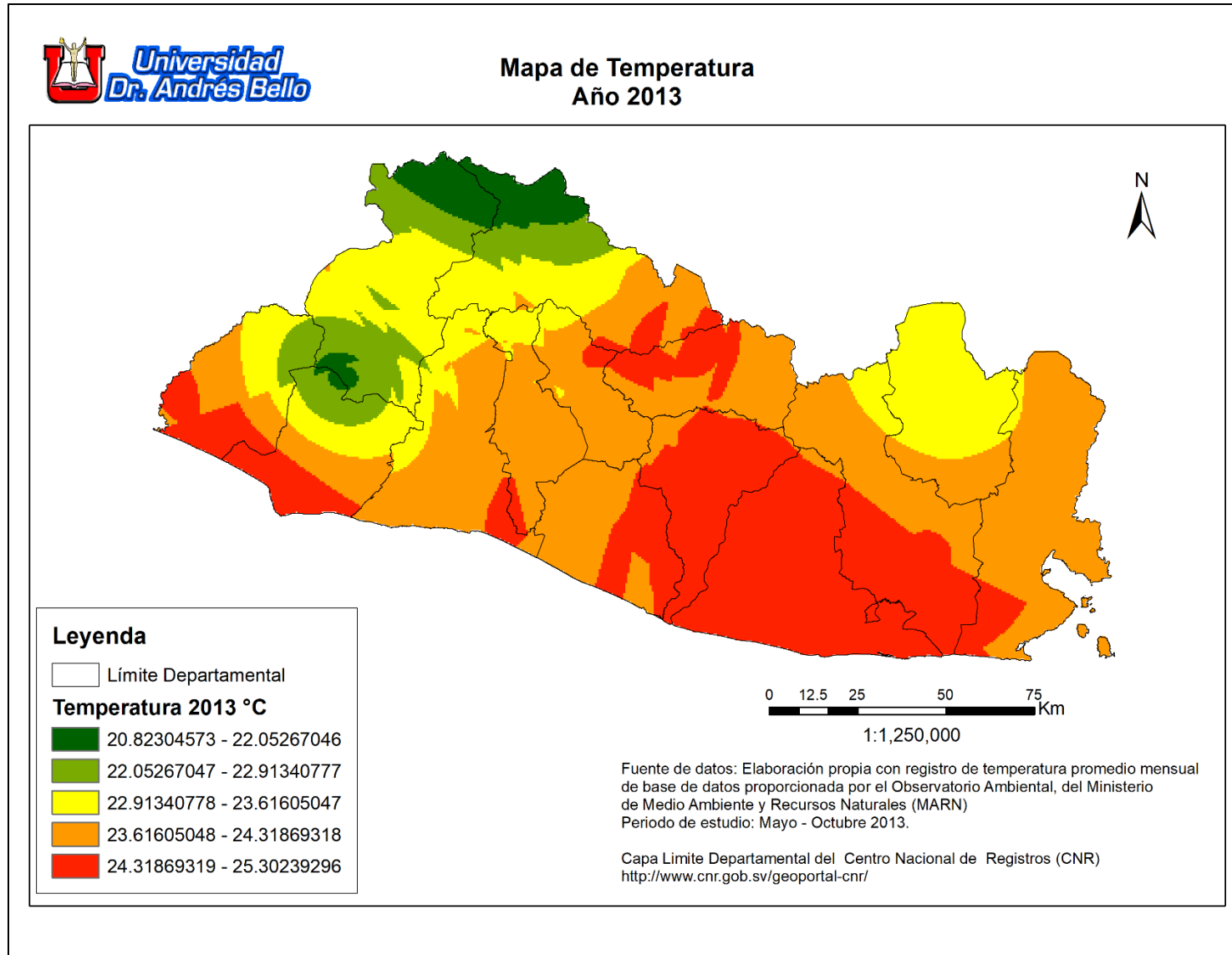


Figura 50. Mapa nacional de temperatura, 2013

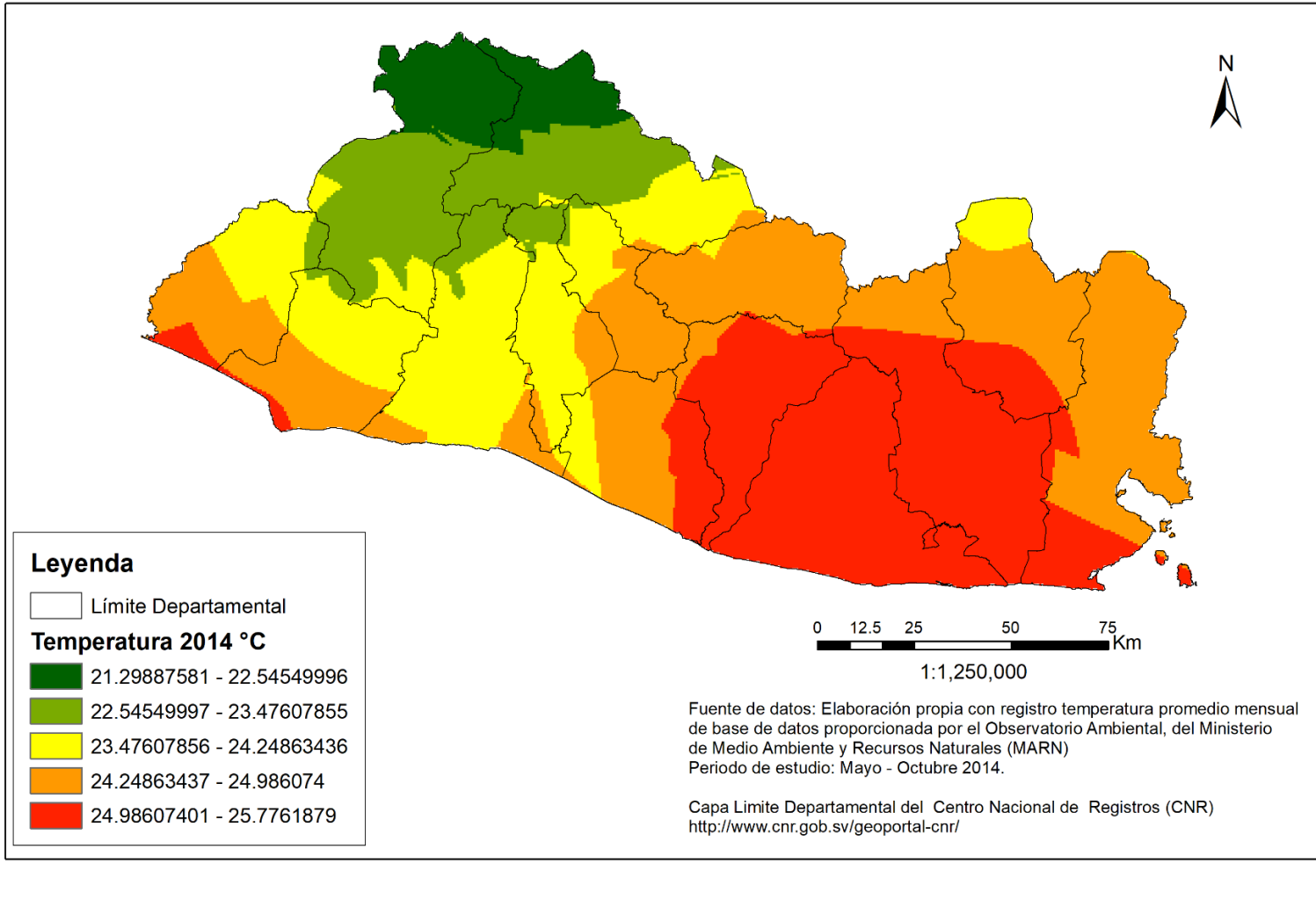


Figura 51. Mapa nacional de temperatura, 2014

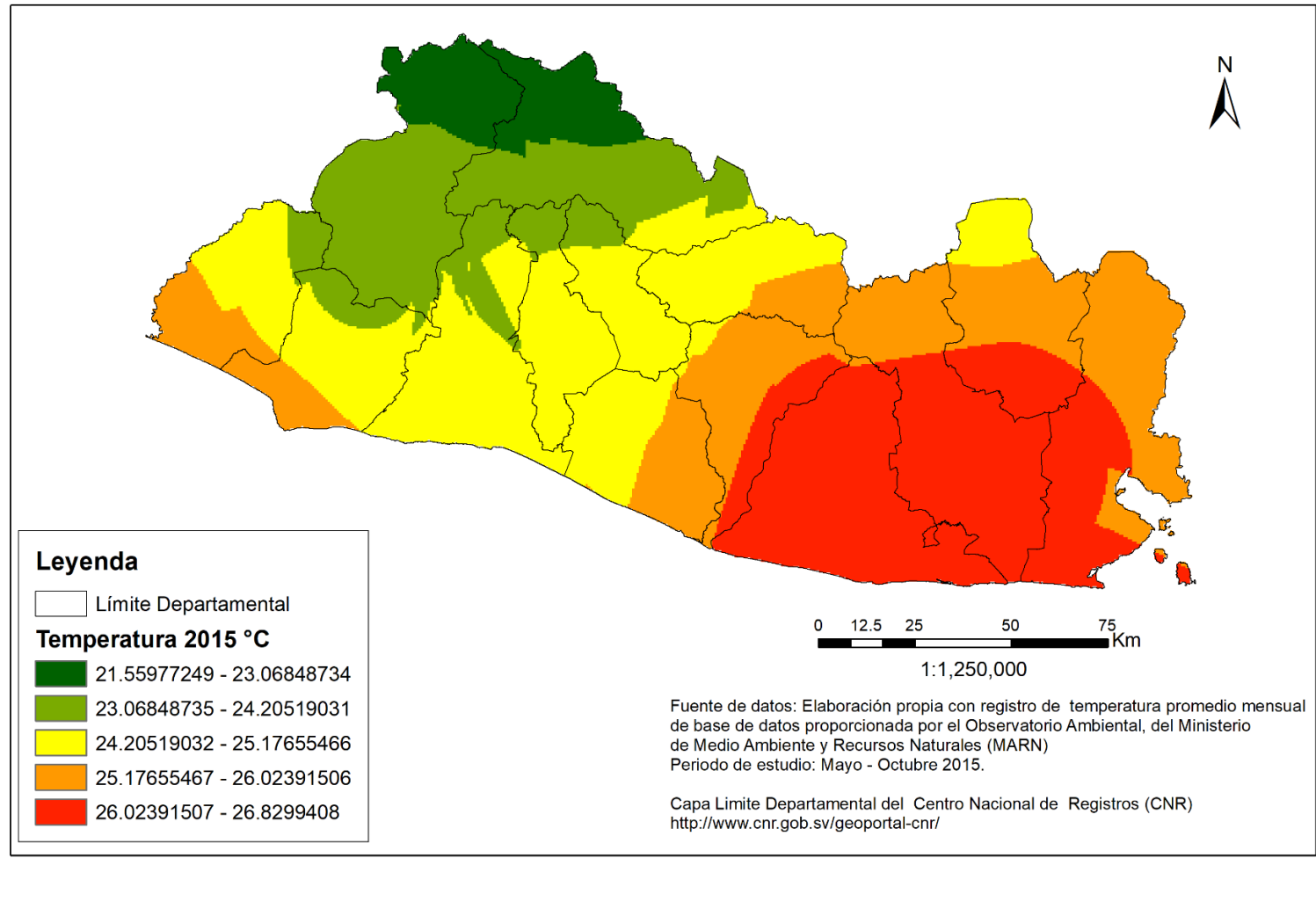


Figura 52. Mapa nacional de temperatura, 2015

### Mapa de Temperatura Año 2016

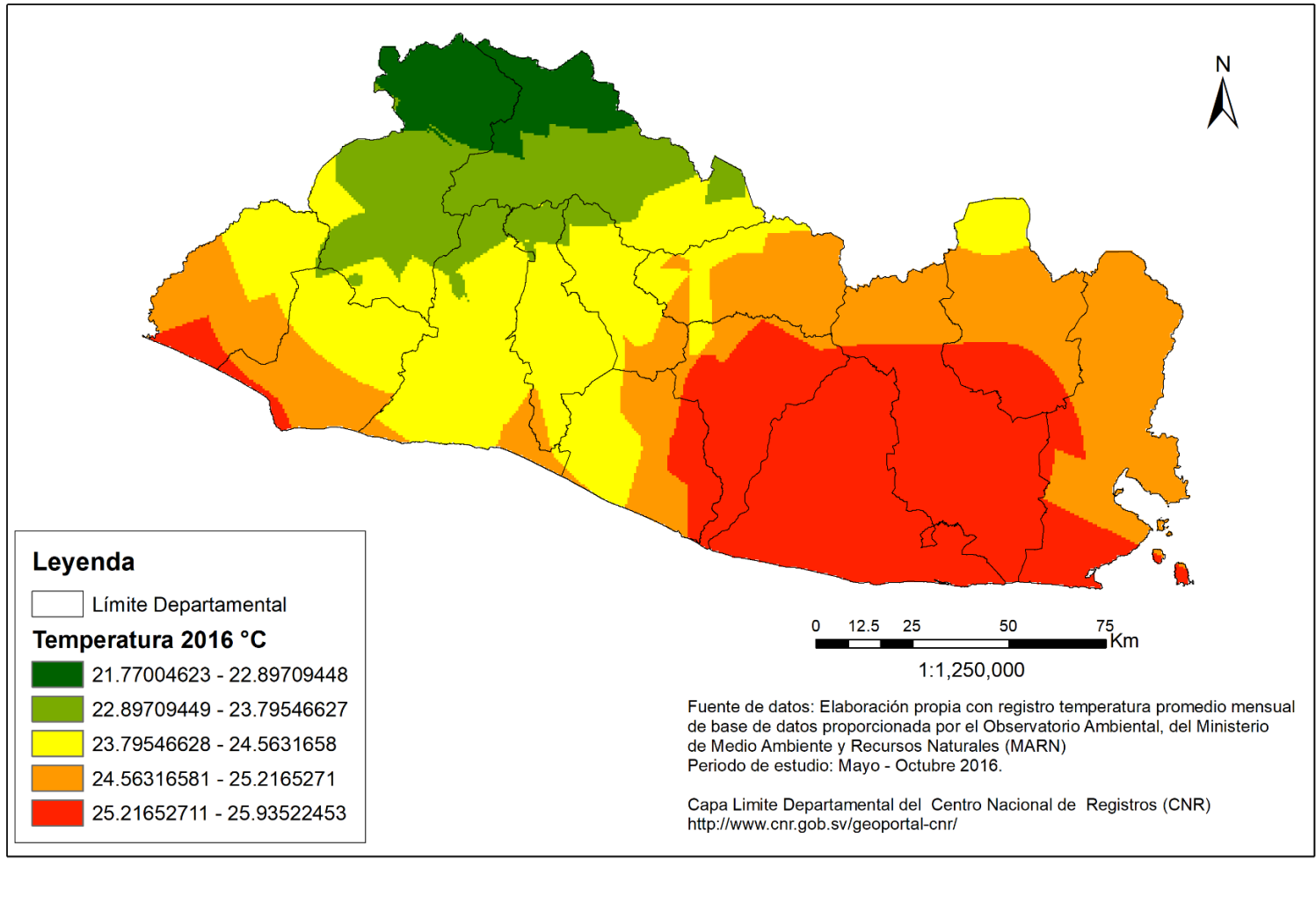


Figura 53. Mapa nacional de temperatura, 2016

### Mapa de Temperatura Año 2017

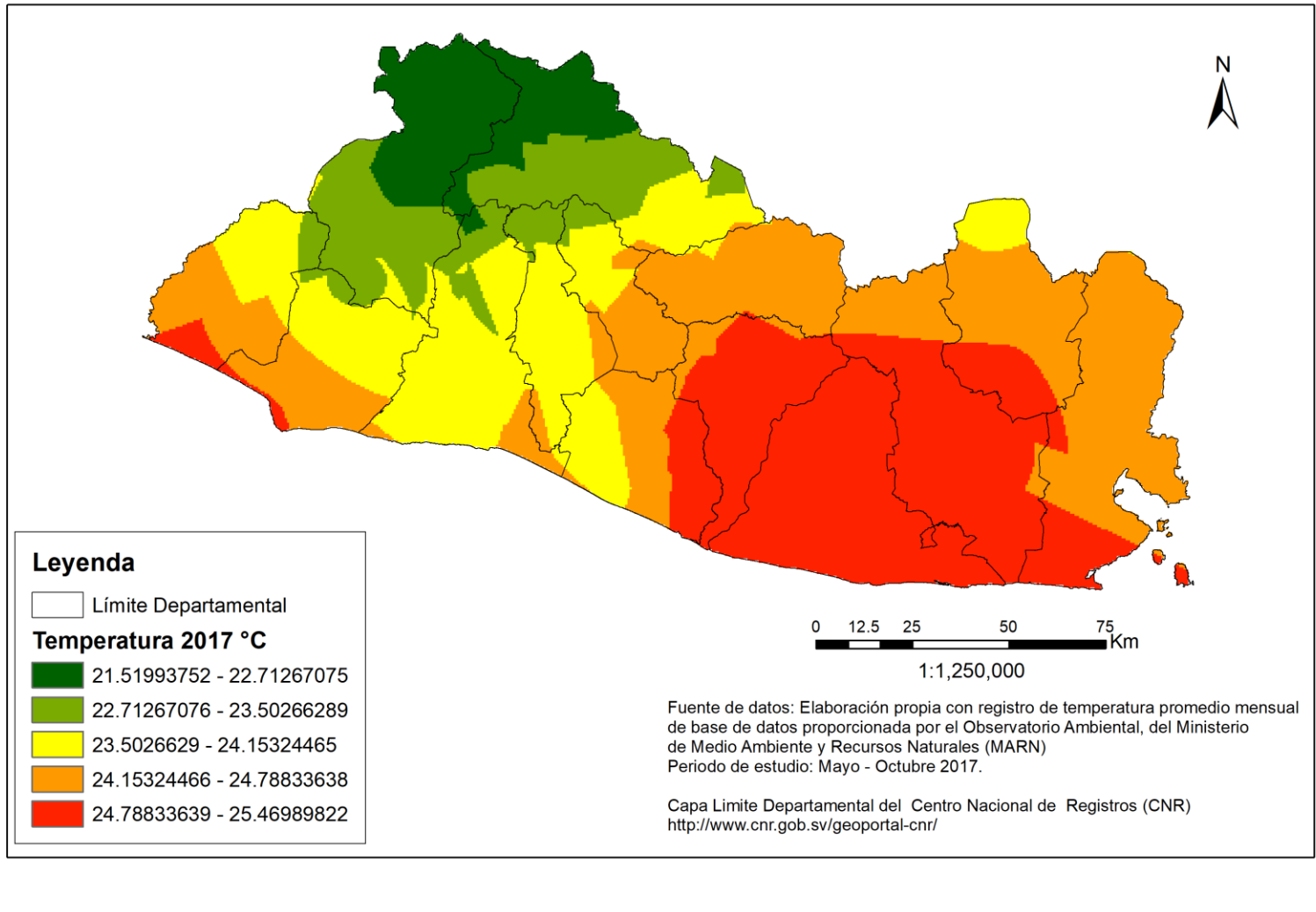


Figura 54. Mapa nacional de temperatura, 2017

### 3.1.2 Mapas nacionales de humedad relativa

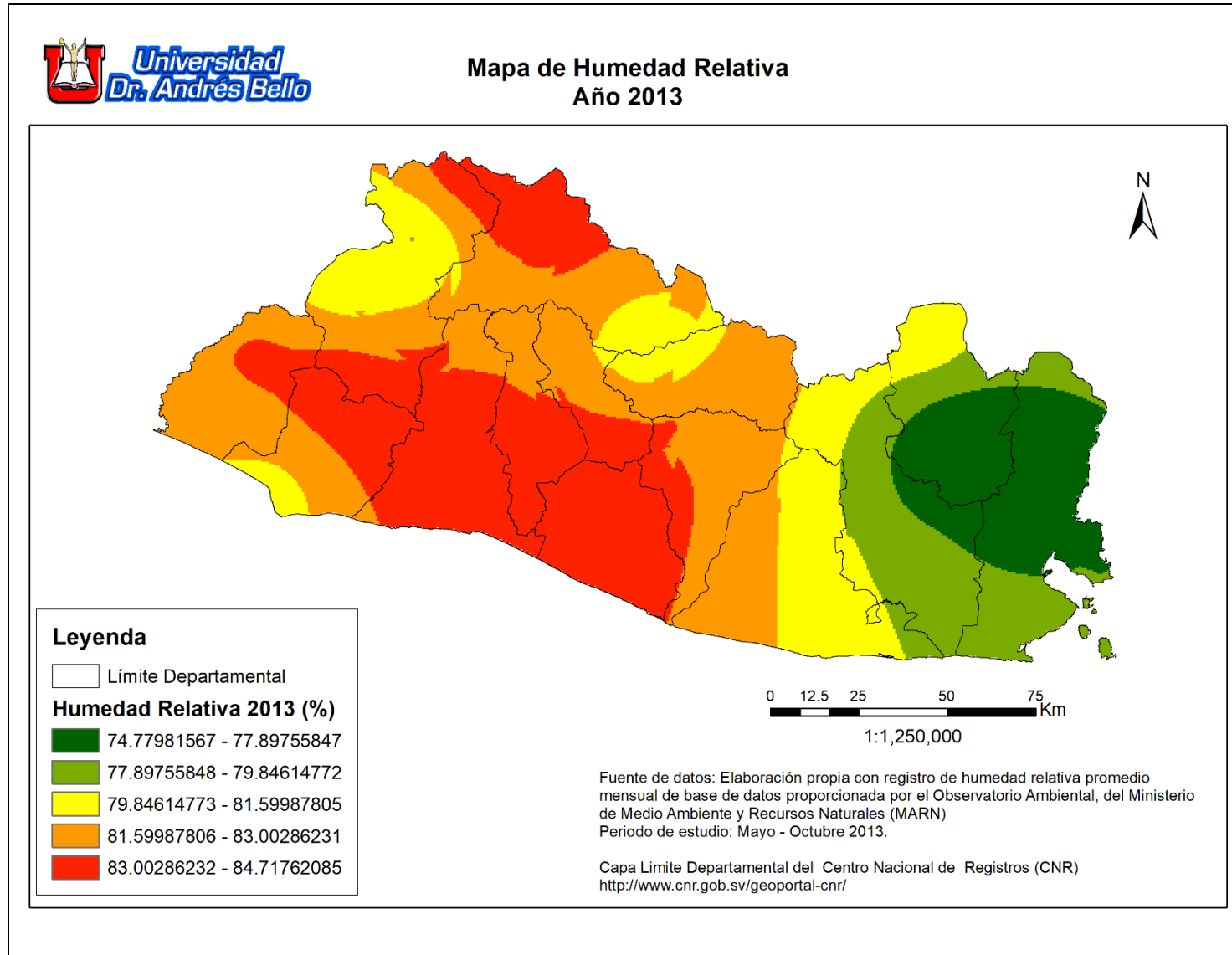


Figura 55. Mapa nacional de humedad relativa, 2013



**Mapa de Humedad Relativa  
Año 2014**

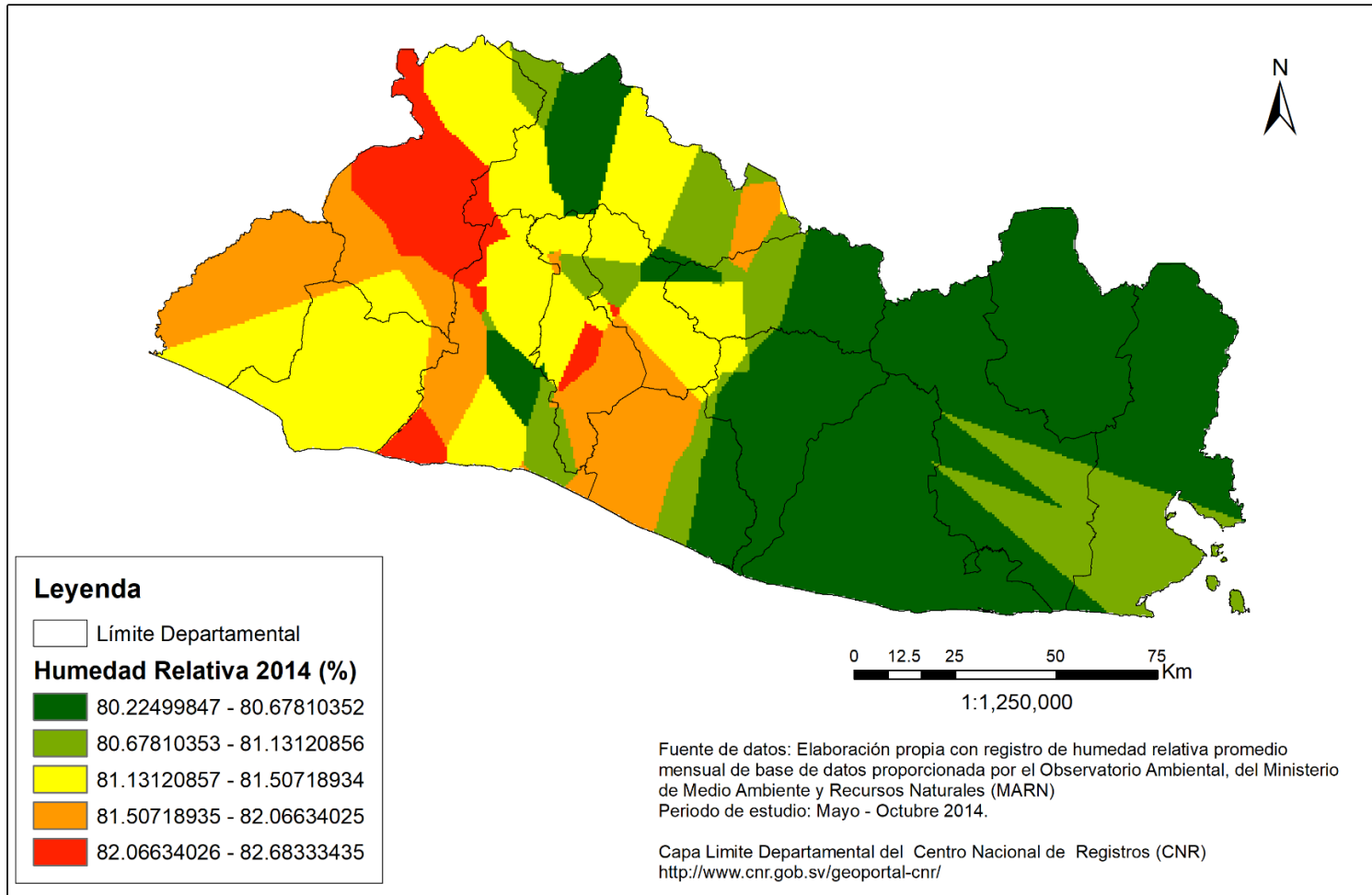
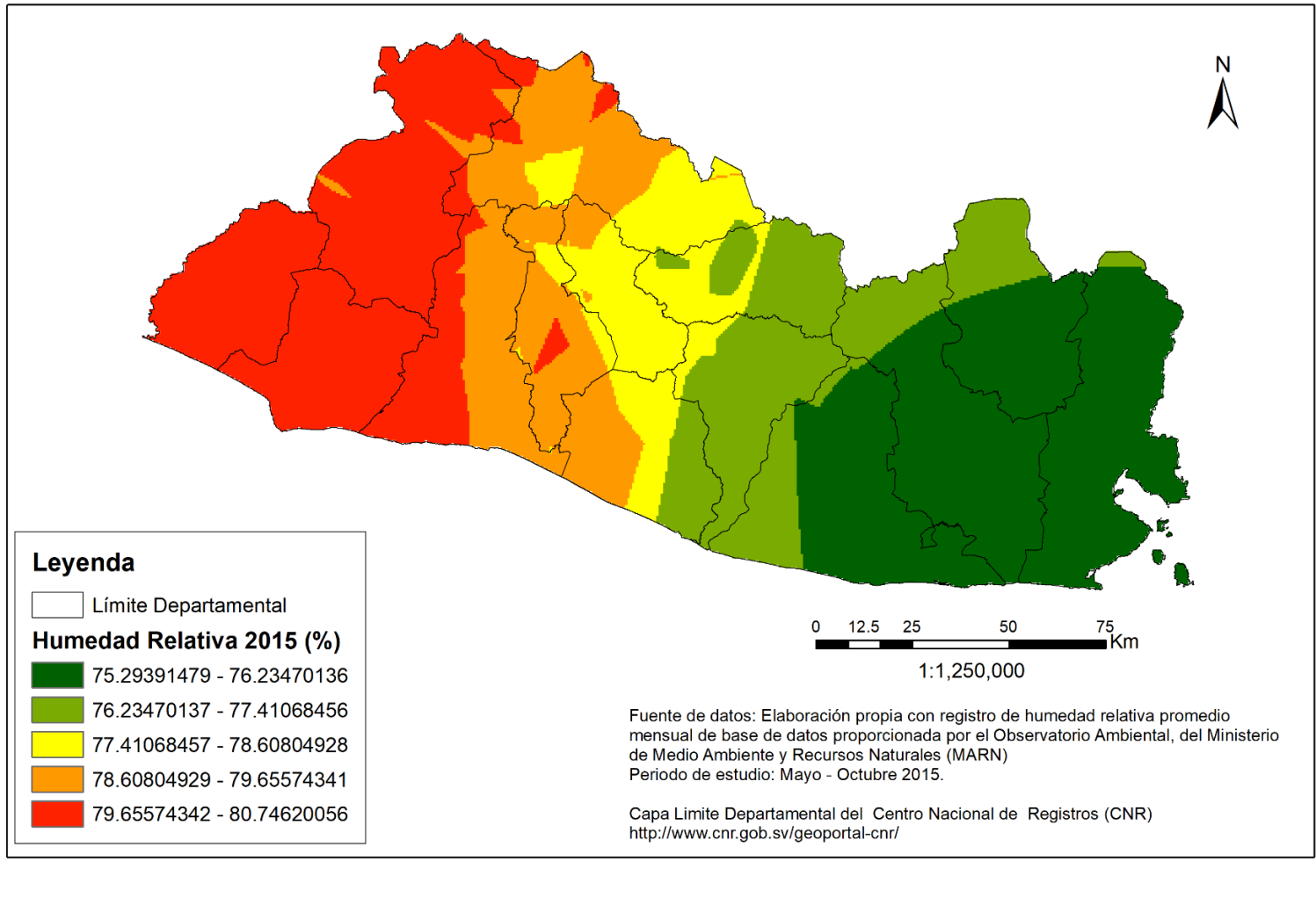


Figura 56. Mapa nacional de humedad relativa, 2014

**Mapa de Humedad Relativa  
Año 2015**



*Figura 57. Mapa nacional de humedad relativa, 2015*

### Mapa de Humedad Relativa Año 2016

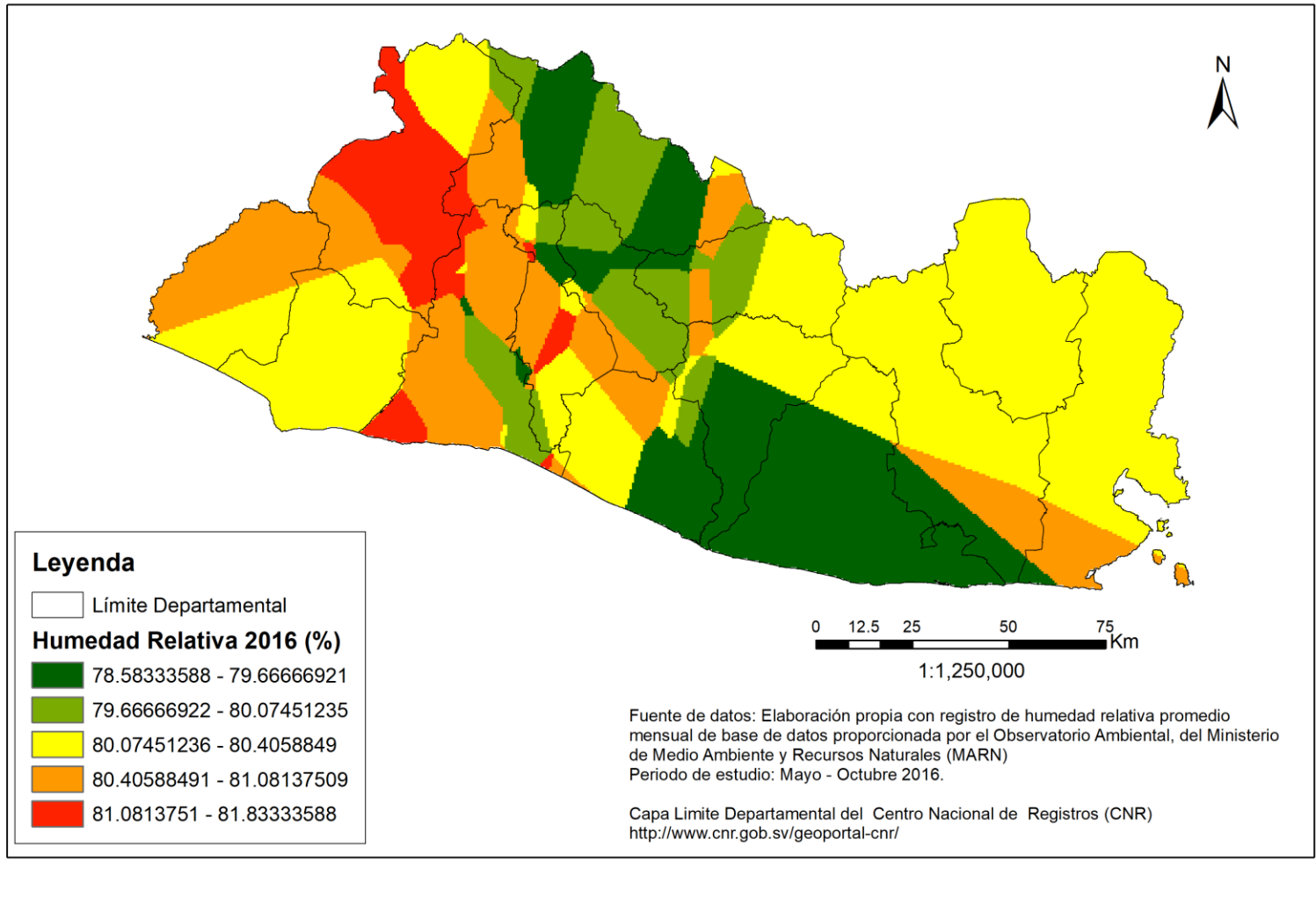
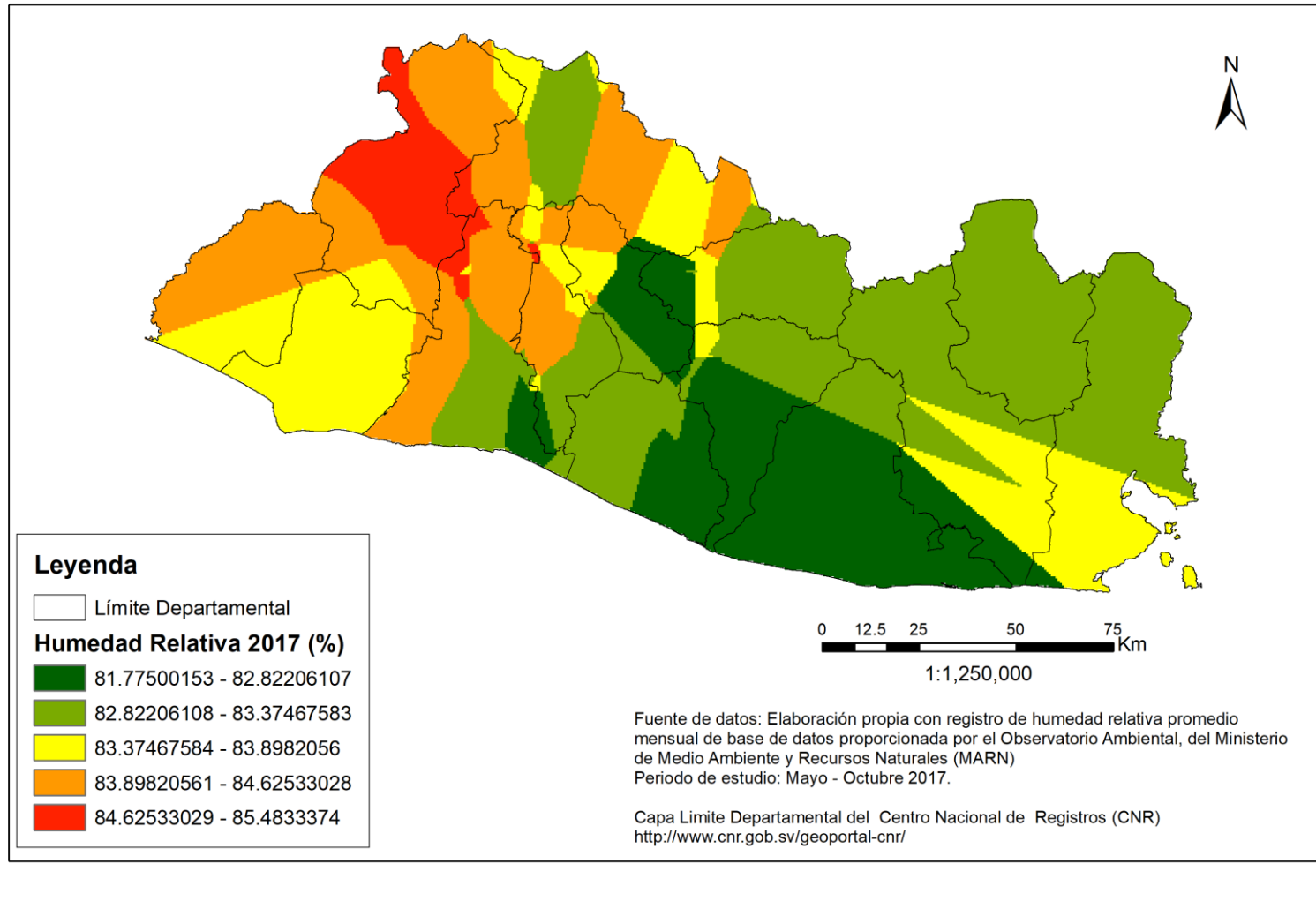


Figura 58. Mapa nacional de humedad relativa, 2016

**Mapa de Humedad Relativa  
Año 2017**



*Figura 59. Mapa nacional de humedad relativa, 2017*

### 3.1.3 Análisis de correlación

Correlación bivariada 2013						
		Latitud	Metros sobre el nivel del mar	Precipitación acumulada 2013	Temperatura media 2013	Humedad relativa media 2013
<b>Latitud</b>	Correlación de Pearson	1	.562**	0.294	-.502*	0.153
	Sig. (bilateral)		0.005	0.174	0.015	0.485
	N	23	23	23	23	23
<b>Metros sobre el nivel del mar</b>	Correlación de Pearson	.562**	1	.484*	-.967**	.532**
	Sig. (bilateral)	0.005		0.019	0.000	0.009
	N	23	23	23	23	23
<b>Precipitación acumulada 2013</b>	Correlación de Pearson	0.294	.484*	1	-.452*	.578**
	Sig. (bilateral)	0.174	0.019		0.031	0.004
	N	23	23	23	23	23
<b>Temperatura media 2013</b>	Correlación de Pearson	-.502*	-.967**	-.452*	1	-.419*
	Sig. (bilateral)	0.015	0.000	0.031		0.047
	N	23	23	23	23	23
<b>Humedad relativa media 2013</b>	Correlación de Pearson	0.153	.532**	.578**	-.419*	1
	Sig. (bilateral)	0.485	0.009	0.004	0.047	
	N	23	23	23	23	23
<b>**.</b> La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).						
<b>*</b> La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).						

Fuente: elaboración propia a partir de los datos del MARN

Tabla 5. Correlación bivariada 2013, nacional

La tabla de correlación bivariada del año 2013, muestra la relación de las variables incluidas para el análisis. En este caso puede observarse correlación de tipo directa e inversa, con niveles de significancia de 0.05 y 0.01.

Las correlaciones directas más alta y más baja se identifican entre la precipitación acumulada y la humedad relativa ( $R=0.578$ ), y entre precipitación acumulada y metros sobre el nivel del mar ( $R=0.484$ ), respectivamente. Por otra parte, la correlación inversa más alta fue encontrada entre metros sobre el nivel del mar y temperatura ( $R= -0.967$ ). De igual forma se identificó que la correlación más baja fue entre temperatura y humedad relativa ( $R= -0.419$ ).

Correlación bivariada 2014						
		Latitud	Metros sobre el nivel del mar	Precipitación acumulada 2014	Temperatura media 2014	Humedad relativa media 2014
<b>Latitud</b>	Correlación de Pearson	1	.562**	0.191	-.557**	0.092
	Sig. (bilateral)		0.005	0.383	0.006	0.675
	N	23	23	23	23	23
<b>Metros sobre el nivel del mar</b>	Correlación de Pearson	.562**	1	.599**	-.988**	.651**
	Sig. (bilateral)	0.005		0.003	0.000	0.001
	N	23	23	23	23	23
<b>Precipitación acumulada 2014</b>	Correlación de Pearson	0.191	.599**	1	-.612**	.543**
	Sig. (bilateral)	0.383	0.003		0.002	0.007
	N	23	23	23	23	23
<b>Temperatura media 2014</b>	Correlación de Pearson	-.557**	-.988**	-.612**	1	-.636**
	Sig. (bilateral)	0.006	0.000	0.002		0.001
	N	23	23	23	23	23
<b>Humedad relativa media 2014</b>	Correlación de Pearson	0.092	.651**	.543**	-.636**	1
	Sig. (bilateral)	0.675	0.001	0.007	0.001	
	N	23	23	23	23	23

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

Fuente: elaboración propia a partir de los datos del MARN

*Tabla 6. Correlación bivariada 2014, nacional*

Para el año 2014 se presentan correlaciones directa e inversa. En el caso de la correlación directa, la humedad relativa y los metros sobre el nivel del mar presentaron un coeficiente  $R=0.651$  (valor más alto); y el valor más bajo ( $R=0.543$ ), se encontró en la relación entre precipitación acumulada y humedad relativa.

Se identificaron valores que indican correlación inversa, como el caso entre metros sobre el nivel del mar y temperatura, obteniendo un coeficiente de  $R= -0.988$ ; y la relación entre latitud y temperatura ( $R= -0.557$ ).

Adicional a lo anterior, es importante mencionar la relación inversa que existe entre temperatura y humedad relativa ( $R= -0.636$ ), al igual que entre precipitación acumulada y temperatura ( $R= -0.612$ ).

<b>Correlación bivariada 2015</b>						
		Latitud	Metros sobre el nivel del mar	Precipitación acumulada 2015	Temperatura media 2015	Humedad relativa media 2015
<b>Latitud</b>	Correlación de Pearson	1	.562**	.453*	-.582**	0.263
	Sig. (bilateral)		0.005	0.030	0.004	0.226
	N	23	23	23	23	23
<b>Metros sobre el nivel del mar</b>	Correlación de Pearson	.562**	1	.683**	-.980**	.711**
	Sig. (bilateral)	0.005		0.000	0.000	0.000
	N	23	23	23	23	23
<b>Precipitación acumulada 2015</b>	Correlación de Pearson	.453*	.683**	1	-.719**	.442*
	Sig. (bilateral)	0.030	0.000		0.000	0.035
	N	23	23	23	23	23
<b>Temperatura media 2015</b>	Correlación de Pearson	-.582**	-.980**	-.719**	1	-.693**
	Sig. (bilateral)	0.004	0.000	0.000		0.000
	N	23	23	23	23	23
<b>Humedad relativa media 2015</b>	Correlación de Pearson	0.263	.711**	.442*	-.693**	1
	Sig. (bilateral)	0.226	0.000	0.035	0.000	
	N	23	23	23	23	23

\*\* 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 del MARN

Tabla 7. Correlación bivariada 2015, nacional

En el año 2015 se obtuvo correlación directa, con los siguientes coeficiente  $R=0.711$  (metros sobre el nivel del mar y humedad relativa) y  $R=0.442$  (precipitación acumulada y humedad relativa), siendo dichos valores el más alto y más bajo de esta categoría, respectivamente.

Por otra parte, también hubo variables que presentaron correlación inversa: metros sobre el nivel del mar y temperatura ( $R= -0.980$ ); y latitud con temperatura ( $R= -0.582$ ), clasificando dichos coeficientes como el más alto y más bajo según corresponde.

Es importante mencionar que; en este año en particular, se identificó una correlación directa con un coeficiente  $R=0.453$ , entre las variables latitud y precipitación acumulada.



Correlación bivariada 2016						
		Latitud	Metros sobre el nivel del mar	Precipitación acumulada 2016	Temperatura media 2016	Humedad relativa media 2016
<b>Latitud</b>	Correlación de Pearson	1	.562**	0.029	-.540**	0.031
	Sig. (bilateral)		0.005	0.896	0.008	0.888
	N	23	23	23	23	23
<b>Metros sobre el nivel del mar</b>	Correlación de Pearson	.562**	1	0.212	-.982**	.576**
	Sig. (bilateral)	0.005		0.332	0.000	0.004
	N	23	23	23	23	23
<b>Precipitación acumulada 2016</b>	Correlación de Pearson	0.029	0.212	1	-0.258	0.190
	Sig. (bilateral)	0.896	0.332		0.234	0.386
	N	23	23	23	23	23
<b>Temperatura media 2016</b>	Correlación de Pearson	-.540**	-.982**	-0.258	1	-.554**
	Sig. (bilateral)	0.008	0.000	0.234		0.006
	N	23	23	23	23	23
<b>Humedad relativa media 2016</b>	Correlación de Pearson	0.031	.576**	0.190	-.554**	1
	Sig. (bilateral)	0.888	0.004	0.386	0.006	
	N	23	23	23	23	23

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

Fuente: elaboración propia a partir de los datos del MARN

*Tabla 8. Correlación bivariada 2016, nacional*

La tabla de correlación bivariada del año 2016, no presenta correlaciones significativas entre variables que; en los demás años del periodo de estudio, si presentaron coeficientes significativos, tal es el caso de: metros sobre el nivel del mar con precipitación acumulada, temperatura con precipitación, y humedad relativa con precipitación.

A pesar de lo anterior, en este año se obtuvo tanto correlación directa como inversa. En el caso de la correlación directa, los coeficientes observados fueron  $R=0.576$  (metros sobre el nivel del mar y humedad relativa) y  $R=0.562$  (latitud y metros sobre el nivel del mar). La correlación inversa se observó en: metros sobre el nivel del mar con temperatura ( $R= -0.982$ ) y en latitud con temperatura ( $R= -0.540$ ).

<b>Correlación bivariada 2017</b>						
		Latitud	Metros sobre el nivel del mar	Precipitación acumulada 2017	Temperatura media 2017	Humedad relativa media 2017
<b>Latitud</b>	Correlación de Pearson	1	.562**	0.267	-.535**	0.189
	Sig. (bilateral)		0.005	0.218	0.009	0.388
	N	23	23	23	23	23
<b>Metros sobre el nivel del mar</b>	Correlación de Pearson	.562**	1	.535**	-.986**	.627**
	Sig. (bilateral)	0.005		0.009	0.000	0.001
	N	23	23	23	23	23
<b>Precipitación acumulada 2017</b>	Correlación de Pearson	0.267	.535**	1	-.569**	.465*
	Sig. (bilateral)	0.218	0.009		0.005	0.025
	N	23	23	23	23	23
<b>Temperatura media 2017</b>	Correlación de Pearson	-.535**	-.986**	-.569**	1	-.639**
	Sig. (bilateral)	0.009	0.000	0.005		0.001
	N	23	23	23	23	23
<b>Humedad relativa media 2017</b>	Correlación de Pearson	0.189	.627**	.465*	-.639**	1
	Sig. (bilateral)	0.388	0.001	0.025	0.001	
	N	23	23	23	23	23
<b>** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).</b>						
<b>* . La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).</b>						

Fuente: elaboración propia a partir de los datos del MARN

*Tabla 9. Correlación bivariada 2017, nacional*

Para el año 2017 se identificaron correlaciones directas: metros sobre el nivel del mar con humedad relativa ( $R=0.627$ ) y precipitación acumulada con humedad relativa ( $R=0.465$ ), siendo los coeficientes anteriores el más alto y más bajo respectivamente. Al mismo tiempo se obtuvo correlaciones inversas: temperatura media con metros sobre el nivel del mar ( $R= -0.986$ ) y latitud con temperatura media ( $R= -0.535$ ), que se clasificaron como los valores más alto y más bajo según se presentan.

Correlación bivariada 2013-2017 (tabla 1/2)

		Latitud	Metros sobre el nivel del mar	Precipitación acumulada 2013	Temperatura media 2013	Humedad relativa a media 2013	Precipitación acumulada 2014	Temperatura media 2014	Humedad relativa a media 2014	Precipitación acumulada 2015	Temperatura media 2015	Humedad relativa a media 2015	Precipitación acumulada 2016	Temperatura media 2016	Humedad relativa a media 2016	Precipitación acumulada 2017	Temperatura media 2017	Humedad relativa a media 2017
Latitud	Correlación de Pearson	1	.562**	0.294	-.502*	0.153	0.191	-.557*	0.092	.453	-.582**	0.263	0.029	-.540**	0.031	0.267	-.535**	0.189
	Sig. (bilateral)		0.005	0.174	0.015	0.485	0.383	0.006	0.675	0.030	0.004	0.226	0.896	0.008	0.888	0.218	0.009	0.388
	N	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
Metros sobre el nivel del mar	Correlación de Pearson	.562**	1	.484*	-.967**	.532**	.599**	-.988**	.651**	.683**	-.980**	.711**	0.212	-.982**	.576**	.535**	-.986**	.627**
	Sig. (bilateral)	0.005		0.019	0.000	0.009	0.003	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.332	0.000	0.004	0.009	0.000	0.001
	N	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
Precipitación acumulada 2013	Correlación de Pearson	0.294	.484*	1	-.452*	.578**	.858**	-.523*	.422	.724**	-.532**	.468*	.609**	-.525*	.530**	.671**	-.518*	.481*
	Sig. (bilateral)	0.174	0.019		0.031	0.004	0.000	0.010	0.045	0.000	0.009	0.024	0.002	0.010	0.009	0.000	0.011	0.020
	N	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
Temperatura media 2013	Correlación de Pearson	-.502*	-.967**	-.452*	1	-.419*	-.574**	.968**	-.641**	-.708**	.952**	-.669**	-.0187	.962**	-.547**	-.563**	.961**	-.592**
	Sig. (bilateral)	0.015	0.000	0.031		0.047	0.004	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.393	0.000	0.007	0.005	0.000	0.003
	N	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
Humedad relativa a media 2013	Correlación de Pearson	0.153	.532**	.578**	-.419*	1	.561**	-.558**	.767**	.464	-.562**	.768**	0.375	-.564**	.754**	0.345	-.576**	.684**
	Sig. (bilateral)	0.485	0.009	0.004	0.047		0.005	0.006	0.000	0.026	0.005	0.000	0.078	0.005	0.000	0.107	0.004	0.000
	N	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
Precipitación acumulada 2014	Correlación de Pearson	0.191	.599**	.858**	-.574**	.561**	1	-.612**	.543**	.746**	-.608**	.513	.627**	-.621**	.642**	.735**	-.630**	.605**
	Sig. (bilateral)	0.383	0.003	0.000	0.004	0.005		0.002	0.007	0.000	0.002	0.012	0.001	0.002	0.001	0.000	0.001	0.002
	N	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
Temperatura media 2014	Correlación de Pearson	-.557*	-.988**	-.523*	.968**	-.558**	-.612**	1	-.636**	-.709**	.995**	-.699**	-.0234	.997**	-.557**	-.557**	.993**	-.604**
	Sig. (bilateral)	0.006	0.000	0.010	0.000	0.006	0.002		0.001	0.000	0.000	0.000	0.283	0.000	0.006	0.006	0.000	0.002
	N	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
Humedad relativa a media 2014	Correlación de Pearson	0.092	.651**	.422	-.641**	.767**	.543**	-.636**	1	.460	-.615**	.922**	0.269	-.636**	.885**	0.382	-.668**	.854**
	Sig. (bilateral)	0.675	0.001	0.045	0.001	0.000	0.007	0.001		0.027	0.002	0.000	0.215	0.001	0.000	0.072	0.000	0.000
	N	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
Precipitación acumulada 2015	Correlación de Pearson	.453	.683**	.724**	-.708**	.464	.746**	-.709**	.460	1	-.719**	.442	.618*	-.716**	.452	.684**	-.711**	.441*
	Sig. (bilateral)	0.030	0.000	0.000	0.000	0.026	0.000	0.000	0.027		0.000	0.035	0.002	0.000	0.031	0.000	0.000	0.035
	N	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
Temperatura media 2015	Correlación de Pearson	-.582**	-.980**	-.532**	.952**	-.562**	-.608**	.995**	-.615**	-.719**	1	-.693**	-.0269	.996**	-.523*	-.568**	.990**	-.572**
	Sig. (bilateral)	0.004	0.000	0.009	0.000	0.005	0.002	0.000	0.002	0.000		0.000	0.214	0.000	0.010	0.005	0.000	0.004
	N	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
Humedad relativa a media 2015	Correlación de Pearson	0.263	.711**	.468*	-.669**	.768**	.513	-.699**	.922**	.442	-.693**	1	0.202	-.693**	.857**	.439	-.709**	.822**
	Sig. (bilateral)	0.226	0.000	0.024	0.000	0.000	0.012	0.000	0.000	0.035	0.000		0.356	0.000	0.000	0.036	0.000	0.000
	N	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23

\*\* 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 del MARN

Tabla 10. Correlación bivariada 2013-2017, nacional (tabla 1/2)

**Correlación bivariada 2013-2017 (tabla 2/2)**

		Latitud	Metros sobre el nivel del mar	Precipitación acumulada 2013	Temperatura media 2013	Humedad relativa a media 2013	Precipitación acumulada 2014	Temperatura media 2014	Humedad relativa a media 2014	Precipitación acumulada 2015	Temperatura media 2015	Humedad relativa a media 2015	Precipitación acumulada 2016	Temperatura media 2016	Humedad relativa a media 2016	Precipitación acumulada 2017	Temperatura media 2017	Humedad relativa a media 2017
Precipitación acumulada 2016	Correlación de Pearson	<b>0.029</b>	<b>0.212</b>	<b>.609**</b>	<b>-0.187</b>	<b>0.375</b>	<b>.627**</b>	<b>-0.234</b>	<b>0.269</b>	<b>.618**</b>	<b>-0.269</b>	<b>0.202</b>	<b>1</b>	<b>-0.258</b>	<b>0.190</b>	<b>.467</b>	<b>-0.267</b>	<b>0.129</b>
	Sig. (bilateral)	<b>0.896</b>	<b>0.332</b>	<b>0.002</b>	<b>0.393</b>	<b>0.078</b>	<b>0.001</b>	<b>0.283</b>	<b>0.215</b>	<b>0.002</b>	<b>0.214</b>	<b>0.356</b>	<b>0.234</b>	<b>0.386</b>	<b>0.025</b>	<b>0.219</b>	<b>0.557</b>	
	N	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>
Temperatura media 2016	Correlación de Pearson	<b>-.540</b>	<b>-.982**</b>	<b>-.525</b>	<b>.962**</b>	<b>-.564**</b>	<b>-.621**</b>	<b>.997**</b>	<b>-.636**</b>	<b>-.716**</b>	<b>.996**</b>	<b>-.693**</b>	<b>-0.258</b>	<b>1</b>	<b>-.554**</b>	<b>-.587**</b>	<b>.995**</b>	<b>-.604**</b>
	Sig. (bilateral)	<b>0.008</b>	<b>0.000</b>	<b>0.010</b>	<b>0.000</b>	<b>0.005</b>	<b>0.002</b>	<b>0.000</b>	<b>0.001</b>	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>	<b>0.234</b>	<b>0.006</b>	<b>0.003</b>	<b>0.000</b>	<b>0.002</b>	
	N	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>
Humedad relativa a media 2016	Correlación de Pearson	<b>0.031</b>	<b>.576**</b>	<b>.530</b>	<b>-.547**</b>	<b>.754**</b>	<b>.642**</b>	<b>-.557**</b>	<b>.885**</b>	<b>.452</b>	<b>-.523</b>	<b>.857**</b>	<b>0.190</b>	<b>-0.554**</b>	<b>1</b>	<b>.483</b>	<b>-.574**</b>	<b>.909**</b>
	Sig. (bilateral)	<b>0.888</b>	<b>0.004</b>	<b>0.009</b>	<b>0.007</b>	<b>0.000</b>	<b>0.001</b>	<b>0.006</b>	<b>0.000</b>	<b>0.031</b>	<b>0.010</b>	<b>0.000</b>	<b>0.386</b>	<b>0.006</b>	<b>0.019</b>	<b>0.004</b>	<b>0.000</b>	
	N	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>
Precipitación acumulada 2017	Correlación de Pearson	<b>0.267</b>	<b>.535**</b>	<b>.671**</b>	<b>-.563**</b>	<b>0.345</b>	<b>.735**</b>	<b>-.557**</b>	<b>0.382</b>	<b>.684**</b>	<b>-.568**</b>	<b>.439</b>	<b>.467</b>	<b>-0.587**</b>	<b>.483</b>	<b>1</b>	<b>-.569**</b>	<b>.465</b>
	Sig. (bilateral)	<b>0.218</b>	<b>0.009</b>	<b>0.000</b>	<b>0.005</b>	<b>0.107</b>	<b>0.000</b>	<b>0.006</b>	<b>0.072</b>	<b>0.000</b>	<b>0.005</b>	<b>0.036</b>	<b>0.025</b>	<b>0.003</b>	<b>0.019</b>	<b>0.005</b>	<b>0.025</b>	
	N	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>
Temperatura media 2017	Correlación de Pearson	<b>-.535</b>	<b>-.986**</b>	<b>-.518</b>	<b>.961**</b>	<b>-.576**</b>	<b>-.630</b>	<b>.993**</b>	<b>-.668**</b>	<b>-.711**</b>	<b>.990**</b>	<b>-.709**</b>	<b>-0.267</b>	<b>.995**</b>	<b>-.574**</b>	<b>-.569**</b>	<b>1</b>	<b>-.639**</b>
	Sig. (bilateral)	<b>0.009</b>	<b>0.000</b>	<b>0.011</b>	<b>0.000</b>	<b>0.004</b>	<b>0.001</b>	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>	<b>0.219</b>	<b>0.000</b>	<b>0.004</b>	<b>0.005</b>	<b>0.001</b>	
	N	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>
Humedad relativa a media 2017	Correlación de Pearson	<b>0.189</b>	<b>.627**</b>	<b>.481</b>	<b>-.592**</b>	<b>.684**</b>	<b>.605**</b>	<b>-.604**</b>	<b>.854**</b>	<b>.441</b>	<b>-.572**</b>	<b>.822**</b>	<b>0.129</b>	<b>-0.604**</b>	<b>.909**</b>	<b>.465</b>	<b>-.639**</b>	<b>1</b>
	Sig. (bilateral)	<b>0.388</b>	<b>0.001</b>	<b>0.020</b>	<b>0.003</b>	<b>0.000</b>	<b>0.002</b>	<b>0.002</b>	<b>0.000</b>	<b>0.035</b>	<b>0.004</b>	<b>0.000</b>	<b>0.557</b>	<b>0.002</b>	<b>0.000</b>	<b>0.025</b>	<b>0.001</b>	
	N	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	<b>23</b>

\*\* . 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 del MARN

Tabla 11. Correlación bivariada 2013-2017, nacional (tabla 2/2)

Realizando el análisis de correlación para todas las variables incluidas en esta investigación, para todos los años del periodo de estudio, se comprobó que la variable latitud tiene la correlación directa más alta con metros sobre el nivel del mar ( $R=0.562$ ) con significancia en el nivel 0.01, y la mayor correlación inversa con temperatura media del año 2015 ( $R= -0.582$ ) con igual significancia que la variable anterior. Se obtuvo que en general, latitud demuestra una correlación inversa con la variable temperatura media, en los demás años además de 2015.

En el caso de metros sobre el nivel del mar (msnm), mediante el análisis de correlación se encontró que; en general, esta variable tiene una correlación inversa con el parámetro ambiental temperatura media, registrando el mayor coeficiente en el año 2014 ( $R= -0.988$ ) con significancia en el nivel 0.01. Por otra parte, se identificó que msnm posee una correlación directa con precipitación acumulada y con humedad relativa media, siendo los coeficientes más altos  $R=0.683$  y  $R=0.711$ , ambos para el año 2015, respectivamente.

La precipitación acumulada de todo el periodo de tiempo que abarcó esta investigación denota claramente que esta variable posee una correlación directa con la humedad relativa; además de observarse el mismo tipo de correlación en los diferentes años entre la misma variable. Por ejemplo, la precipitación acumulada del año 2013 presentó una correlación directa con la precipitación acumulada del año 2014, con un coeficiente  $R=0.858$ , y significancia en el nivel de 0.01. También se determinó correlación directa entre la precipitación acumulada y msnm.

En el caso de la temperatura media y la humedad relativa media, se comprobó que entre estas variables existe una correlación inversa, obteniendo el mayor coeficiente de correlación entre temperatura media del año 2017 y humedad relativa media del año 2015 con un valor de  $R= -0.709$  y significancia en el nivel 0.01. Para la variable temperatura, se identificó igualmente correlación inversa con metros sobre el nivel del mar, con un coeficiente  $R= -0.988$  y significancia en el nivel 0.01, entre temperatura media 2014 y MSNM. El mismo tipo de correlación se observó para temperatura media y latitud.

Finalizando este análisis, se encontró una correlación directa de humedad relativa media con: latitud, metros sobre el nivel del mar y precipitación acumulada.

### 3.1.4 Modelos de regresión lineal anuales

Los modelos de regresión anual se han estructurado en función de la correlación observada entre las variables incluidas en la investigación. La precipitación acumulada de cada año se encuentra como variable dependiente, y como conjunto de variables independientes (predictores): humedad relativa media, temperatura media y metros sobre el nivel del mar.

#### Año 2013

Resumen del modelo				
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	.625a	0.391	0.295	304.9822
a. Predictores: (Constante), Humedad relativa media 2013, Temperatura media 2013, Metros sobre el nivel del mar				

Fuente: elaboración propia a partir de los datos del MARN

Tabla 12. Resumen modelo de regresión lineal anual 2013, nacional

ANOVA <sup>a</sup>						
Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	1133280.166	3	377760.055	4.061	.022b
	Residuo	1767268.367	19	93014.125		
	Total	2900548.533	22			
a. Variable dependiente: Precipitación acumulada 2013						
b. Predictores: (Constante), Humedad relativa media 2013, Temperatura media 2013, Metros sobre el nivel del mar						

Fuente: elaboración propia a partir de los datos del MARN

Tabla 13. Análisis de varianza, modelo de regresión lineal anual 2013, nacional

#### Año 2014

Resumen del modelo				
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	.648a	0.420	0.328	337.0437
a. Predictores: (Constante), Humedad relativa media 2014, Temperatura media 2014, Metros sobre el nivel del mar				

Fuente: elaboración propia a partir de los datos del MARN

Tabla 14. Resumen modelo de regresión lineal anual 2014, nacional

ANOVA <sup>a</sup>						
Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	1562729.971	3	520909.990	4.586	.014b
	Residuo	2158370.098	19	113598.426		
	Total	3721100.069	22			
a. Variable dependiente: Precipitación acumulada 2014						
b. Predictores: (Constante), Humedad relativa media 2014, Temperatura media 2014, Metros sobre el nivel del mar						

Fuente: elaboración propia a partir de los datos del MARN

Tabla 15. Análisis de varianza, modelo de regresión lineal anual 2014, nacional

Año 2015

Resumen del modelo				
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	.730a	0.532	0.459	196.8354
a. Predictores: (Constante), Humedad relativa media 2015, Temperatura media 2015, Metros sobre el nivel del mar				

Fuente: elaboración propia a partir de los datos del MARN

Tabla 16. Resumen modelo de regresión lineal anual 2015, nacional

ANOVA <sup>a</sup>						
Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	838263.958	3	279421.319	7.212	.002b
	Residuo	736139.156	19	38744.166		
	Total	1574403.113	22			
a. Variable dependiente: Precipitación acumulada 2015						
b. Predictores: (Constante), Humedad relativa media 2015, Temperatura media 2015, Metros sobre el nivel del mar						

Fuente: elaboración propia a partir de los datos del MARN

Tabla 17. Análisis de varianza, modelo de regresión lineal anual 2015, nacional

Año 2016

Resumen del modelo				
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	.358a	0.128	-0.009	232.1846
a. Predictores: (Constante), Humedad relativa media 2016, Temperatura media 2016, Metros sobre el nivel del mar				

Fuente: elaboración propia a partir de los datos del MARN

Tabla 18. Resumen modelo de regresión lineal anual 2016, nacional

ANOVA <sup>a</sup>						
Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	150759.398	3	50253.133	0.932	.444b
	Residuo	1024283.720	19	53909.669		
	Total	1175043.118	22			
a. Variable dependiente: Precipitación acumulada 2016						
b. Predictores: (Constante), Humedad relativa media 2016, Temperatura media 2016, Metros sobre el nivel del mar						

Fuente: elaboración propia a partir de los datos del MARN

Tabla 19. Análisis de varianza, modelo de regresión lineal anual 2016, nacional



Año 2017

Resumen del modelo				
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	.605a	0.367	0.267	334.7147
a. Predictores: (Constante), Humedad relativa media 2017, Metros sobre el nivel del mar, Temperatura media 2017				

Fuente: elaboración propia a partir de los datos del MARN

Tabla 20. Resumen modelo de regresión lineal anual 2017, nacional

ANOVA <sup>a</sup>						
Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	1231623.944	3	410541.315	3.664	.031b
	Residuo	2128644.673	19	112033.930		
	Total	3360268.617	22			
a. Variable dependiente: Precipitación acumulada 2017						
b. Predictores: (Constante), Humedad relativa media 2017, Metros sobre el nivel del mar, Temperatura media 2017						

Fuente: elaboración propia a partir de los datos del MARN

Tabla 21. Análisis de varianza, modelo de regresión lineal anual 2017, nacional

Año	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Sig
2013	0.625	0.391	0.295	0.022
2014	0.648	0.420	0.328	0.014
2015	0.730	0.532	0.459	0.002
2016	0.358	0.128	-0.009	0.444
2017	0.605	0.367	0.267	0.031

Fuente: elaboración propia a partir de los datos del MARN

Tabla 22. Resumen de modelos de regresión lineal anuales 2013-2017, nacional

Con la realización de los modelos de regresión lineal anuales, se comprobó que, aunque en general se observen coeficientes de correlación desde  $R= 0.358$  (2016) hasta  $R= 0.730$  (2015); al realizar el ajuste de  $R^2$  en los modelos, se obtienen coeficientes de determinación ( $R^2$  ajustados) bajos, e incluso en el año 2016, un  $R^2$  ajustado negativo (-0.009). En los demás años, dichos coeficientes ajustados se encuentran entre  $R^2=0.267$  (2017) y  $R^2=0.459$  (2015); identificando en el coeficiente del año 2015, una significancia en el nivel de 0.01.

### 3.1.5 Modelo de regresión 2013-2014, estimación lluvia 2015

Resumen del modelo <sup>b</sup>				
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	.905 <sup>a</sup>	.819	.715	142.7509
a. Predictores: (Constante), Humedad relativa media 2014, Latitud, Precipitación acumulada 2013, Temperatura media 2013, Humedad relativa media 2013, Precipitación acumulada 2014, Metros sobre el nivel del mar, Temperatura media 2014				
b. Variable dependiente: Precipitación acumulada 2015				

Fuente: elaboración propia a partir de los datos del MARN

Tabla 23. Resumen modelo de regresión lineal 2013-2014, estimación lluvia 2015, nacional

ANOVA <sup>a</sup>						
Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	1289113.462	8	161139.183	7.908	.000 <sup>b</sup>
	Residuo	285289.651	14	20377.832		
	Total	1574403.113	22			
a. Variable dependiente: Precipitación acumulada 2015						
b. Predictores: (Constante), Humedad relativa media 2014, Latitud, Precipitación acumulada 2013, Temperatura media 2013, Humedad relativa media 2013, Precipitación acumulada 2014, Metros sobre el nivel del mar, Temperatura media 2014						

Fuente: elaboración propia a partir de los datos del MARN

Tabla 24. Análisis de varianza, modelo de regresión lineal 2013-2014, estimación de lluvia 2015, nacional

En el caso del modelo de regresión lineal para el periodo 2013-2014, a diferencia de los modelos lineales anuales; este incluye la variable latitud, pues se comprobó que tomar en cuenta esta variable aporta en general 0.033, que permite obtener un coeficiente de determinación ajustado más alto, que el que se obtiene al no incluir dicha variable.

El modelo que incluye la variable latitud obtiene un  $R^2$  ajustado =0.715 y significancia de 0.000459, mientras que el modelo que no la incluye, presenta un  $R^2$  ajustado =0.682 y una significancia de 0.000478; claramente ambos modelos con significancia en nivel 0.01; sin embargo, la significancia es más valiosa cuanto más se acerque a cero; por lo que se puede mencionar que incluir la variable latitud en modelos de regresión que contemplen periodos de tiempo mayores a un año, permitió mejorar el coeficiente de determinación con ajuste y la significancia.

### 3.1.6 Modelo de regresión 2013-2016, estimación lluvia 2017

Resumen del modelo				
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	.935 <sup>a</sup>	.874	.653	230.1294
a. Predictores: (Constante), Humedad relativa media 2016, Latitud, Precipitación acumulada 2016, Temperatura media 2013, Precipitación acumulada 2013, Humedad relativa media 2013, Precipitación acumulada 2015, Precipitación acumulada 2014, Humedad relativa media 2015, Humedad relativa media 2014, Metros sobre el nivel del mar, Temperatura media 2016, Temperatura media 2014, Temperatura media 2015				

Fuente: elaboración propia a partir de los datos del MARN

Tabla 25. Resumen modelo de regresión lineal 2013-2016, estimación lluvia 2017, nacional

ANOVA <sup>a</sup>						
Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	2936592.315	14	209756.594	3.961	.028 <sup>b</sup>
	Residuo	423676.302	8	52959.538		
	Total	3360268.617	22			
a. Variable dependiente: Precipitación acumulada 2017						
b. Predictores: (Constante), Humedad relativa media 2016, Latitud, Precipitación acumulada 2016, Temperatura media 2013, Precipitación acumulada 2013, Humedad relativa media 2013, Precipitación acumulada 2015, Precipitación acumulada 2014, Humedad relativa media 2015, Humedad relativa media 2014, Metros sobre el nivel del mar, Temperatura media 2016, Temperatura media 2014, Temperatura media 2015						

Fuente: elaboración propia a partir de los datos del MARN

Tabla 26. Análisis de varianza, modelo de regresión lineal 2013-2016, estimación de lluvia 2017, nacional

Al igual que en el modelo de regresión lineal 2013-2014, en el modelo 2013-2016 también fue incluida latitud, ya que esta variable aportaba para obtener un coeficiente de determinación ajustado más alto que el que se obtenía de no incluir dicha variable.

En este caso, el modelo que incluyó la variable latitud obtuvo un  $R^2$  ajustado=0.653 y una significancia 0.028, dicho modelo es el que se presenta en este apartado. En comparativa, el modelo en el cual no se incluyó latitud, presentó  $R^2$  ajustado=0.625 con significancia de 0.025. Si bien es cierto este último modelo presenta una significancia levemente superior; sin embargo, este tiene un error estándar de la estimación de 239.4138 y el primer modelo un error de 230.1294.

Con el modelo de regresión lineal presentado, se comprobó que al igual que en el modelo 2013-2014; incluir la variable latitud en periodos de tiempo mayores a un año, permitió obtener un coeficiente de determinación ajustado más alto, y un menor error estándar de la estimación.

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

#### Maíz

Año	Área total (ha)	Variación área total	T° prom. estimada	Variación T° prom.	HR% prom. estimada	Variación HR% prom.	Precipitación prom. acum.	Variación precipitación prom. acum.	Precio prom. mayorista (USD/qq)	Variación precio prom. mayorista	Precio prom. consumidor (USD/lb)	Variación precio prom. consumidor
2013	265,072.90		23.06		79.75		1,728.50		\$14.34		\$0.20	
2014	386,763.88	45.91%	23.54	2.08%	81.46	2.14%	1,881.00	8.82%	\$16.58	15.62%	\$0.22	10.00%
2015	275,576.03	-28.75%	24.20	2.78%	78.02	-4.22%	1,473.00	-21.69%	\$20.03	20.81%	\$0.24	9.09%
2016	313,201.87	13.65%	23.86	-1.41%	80.21	2.80%	1,385.50	-5.94%	\$18.20	-9.14%	\$0.22	-8.33%
2017	337,338.86	7.71%	23.50	-1.51%	83.63	4.27%	1,788.50	29.09%	\$12.20	-32.97%	\$0.19	-13.64%

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

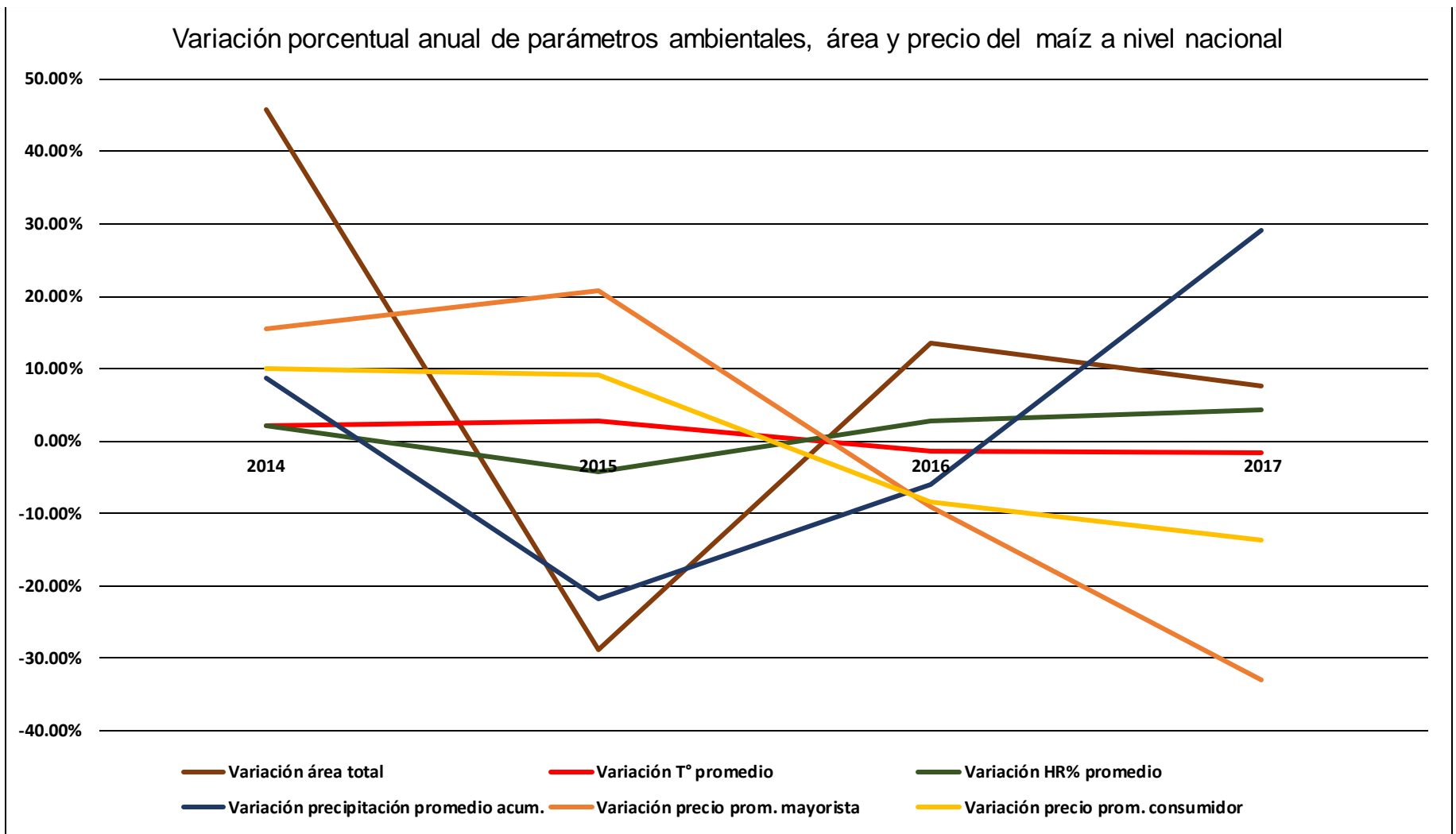
Tabla 27. Variación de parámetros ambientales, área y precio del maíz a nivel nacional

#### Arroz

Año	Área total (ha)	Variación área total	T° prom. estimada	Variación T° prom.	HR% prom. estimada	Variación HR% prom.	Precipitación prom. acum.	Variación precipitación prom. acum.	Precio prom. Mayorista (USD/qq)	Variación precio prom. mayorista	Precio prom. consumidor (USD/lb)	Variación precio prom. consumidor
2013	1,285.72		23.06		79.75		1,728.50		\$38.05		\$0.47	
2014	4,892.75	280.55%	23.54	2.08%	81.46	2.14%	1,881.00	8.82%	\$40.44	6.28%	\$0.50	6.38%
2015	1,714.62	-64.96%	24.20	2.78%	78.02	-4.22%	1,473.00	-21.69%	\$38.26	-5.39%	\$0.47	-6.00%
2016	3,344.72	95.07%	23.86	-1.41%	80.21	2.80%	1,385.50	-5.94%	\$36.80	-3.82%	\$0.45	-4.26%
2017	6,413.66	91.75%	23.50	-1.51%	83.63	4.27%	1,788.50	29.09%	\$35.40	-3.80%	\$0.45	0.00%

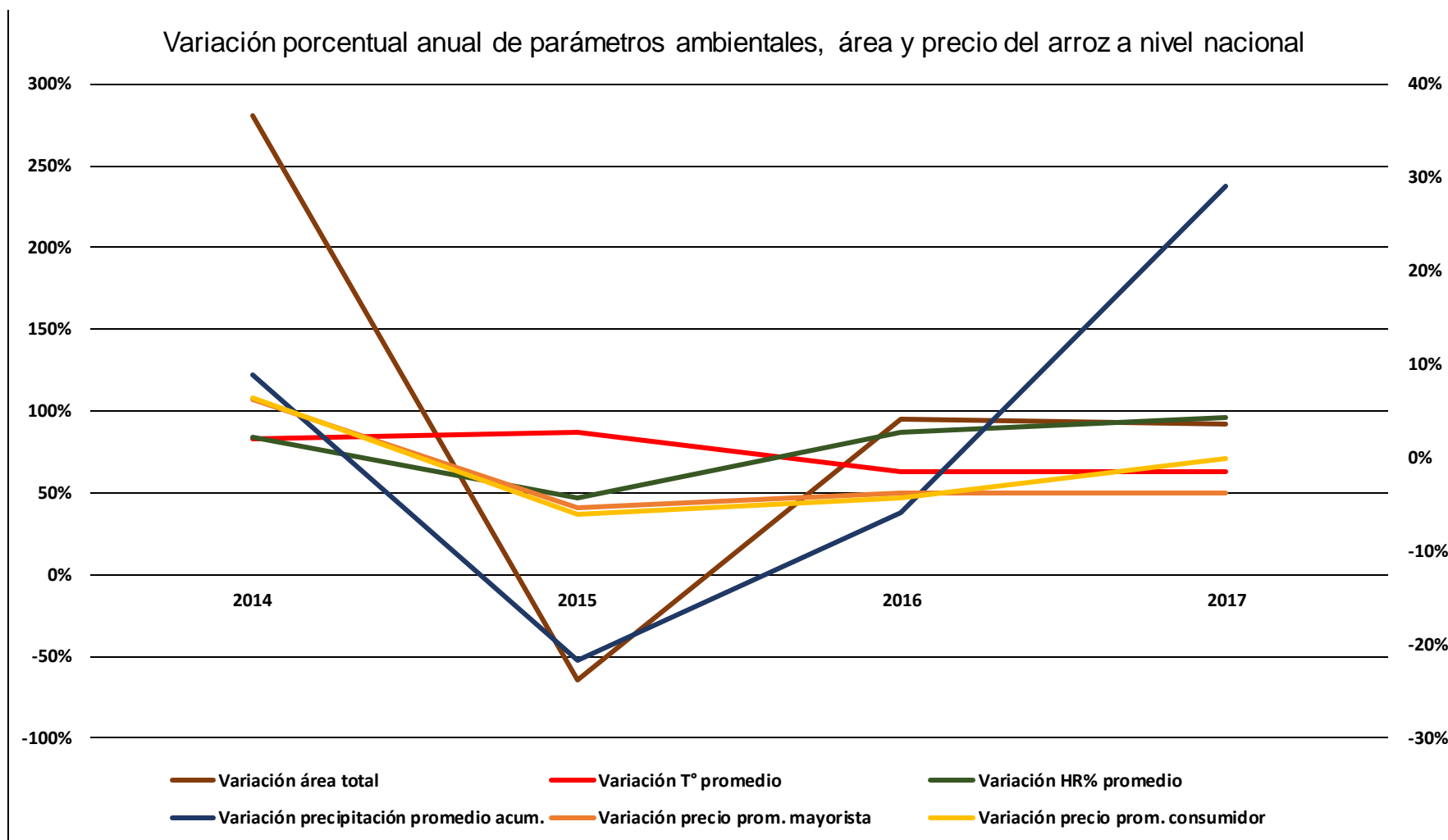
Fuente: elaboración propia a partir de los datos del MARN y de los anuarios de estadísticas de la DGEA

Tabla 28. Variación de parámetros ambientales, área y precio del arroz 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 maíz a nivel nacional



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 arroz a nivel nacional<sup>11</sup>

<sup>11</sup> 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).

En el caso de ambos cultivos, se presentan variaciones sobresalientes en los años 2015 y 2017, ya que el área total en los años mencionados parece haber estado condicionada por la variación de los parámetros ambientales incluidos en la investigación, entre otros aspectos.

En el año 2015 se obtuvo en los mapas elaborados y en comparación con el año 2014, una temperatura promedio de 24.20 °C, lo cual implicó un aumento de temperatura de 2.78%; una humedad relativa promedio de 78.02%, con un decremento de 4.22%.

Igualmente, para el año 2015 según Rivas et al (2019), la precipitación promedio acumulada fue de 1,473 mm, con una disminución de lluvia del 21.69%, y el área total estimada de cultivo de maíz a nivel nacional fue de 275,576.03 ha, presentando una disminución del 28.75% respecto al año 2014. En el caso del arroz el área estimada fue de 1,714.62 ha, con una disminución del 64.96%, respecto a 2014. Además de observar una relación inversa entre la temperatura y humedad relativa, al cruzar estos datos con los obtenidos en la presente investigación, se ha verificado que para el año 2015 un aumento de temperatura conllevó una disminución en la precipitación; y por tanto, un decremento significativo en el área estimada de los cultivos del maíz y arroz.

De los datos del año 2017 en comparación con 2016, se obtuvo una temperatura promedio de 23.50 °C, con una disminución de 1.51%; una humedad relativa promedio de 83.63%, con un aumento de 4.27%.

Al igual que los datos anteriores, para el año 2017 según Rivas et al (2019), la precipitación promedio acumulada fue de 1,788.50 mm, registrando un aumento del 29.09%, y el área total estimada de cultivo de maíz a nivel nacional ascendió a 337,338.86 hectáreas, con un aumento del 7.71%, respecto al año 2016. En el caso del arroz, se obtuvo un área estimada de 6,413.66 hectáreas, registrando un aumento del 91.75% respecto a 2016. Al igual que en el año 2015, en el año 2017 se identifica una relación inversa entre temperatura y humedad relativa, con la única diferencia que hubo una disminución de temperatura y un aumento de humedad relativa, lo cual implicó un aumento en la precipitación y; en consecuencia, una mayor área estimada de los cultivos estudiados.

Por otra parte, los precios de ambos cultivos han variado en función del área disponible para la siembra, según los costos de producción y según la cantidad de producto listo para la venta, entre otros aspectos no incluidos en la investigación (importaciones, exportaciones, demanda, impuesto, entre otros) que condicionan los precios.



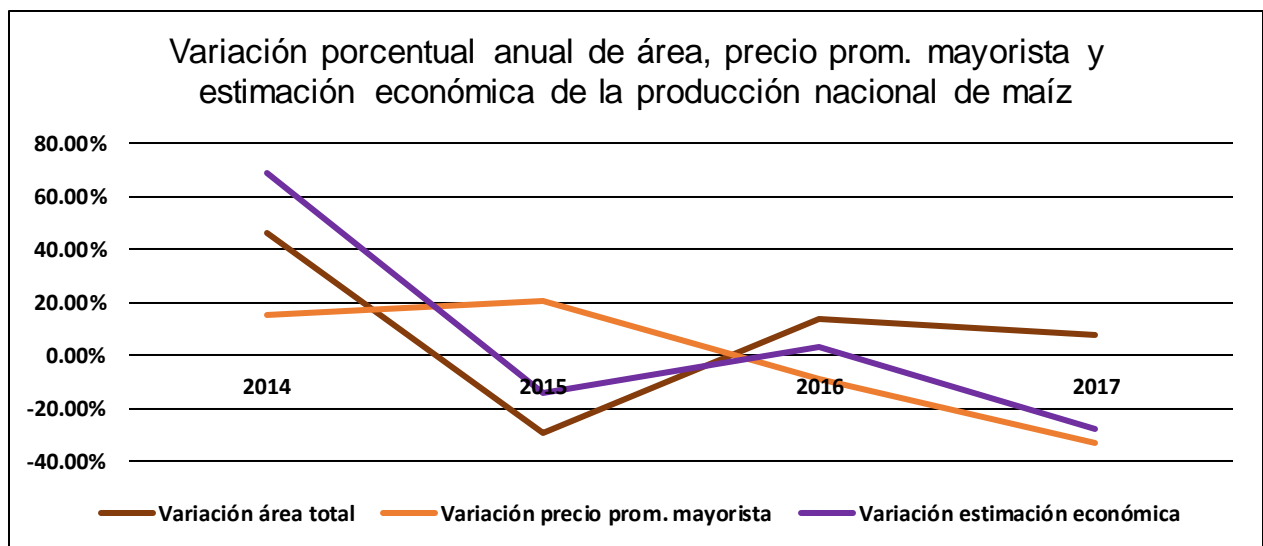
### 3.1.8 Estimación económica de la producción nacional de maíz y arroz

#### 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

Fuente: elaboración propia a partir de los datos de los anuarios de estadísticas de la DGEA y el CENTA  
 Tabla 29. Estimación económica de la producción nacional de maíz

Según la variación de parámetros ambientales (ver tabla 27) representada en el gráfico 3: el aumento de temperatura, la disminución de humedad relativa y la disminución de precipitación; ocasionó que el área estimada de cultivo de maíz en 2015 se redujera a 275,576.03 hectáreas, lo cual provocó disminución del producto y que el precio por quintal a nivel mayorista aumentara a \$20.03 (aumento de 20.81% respecto a 2014), obteniendo un decremento en la estimación económica de la producción de 13.92% (ver tabla 29). En el año 2017, el área total de maíz aumentó a 337,338.86 hectáreas; lo cual hizo que la producción aumentara; y por tanto, que el precio por quintal disminuyera.



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 maíz

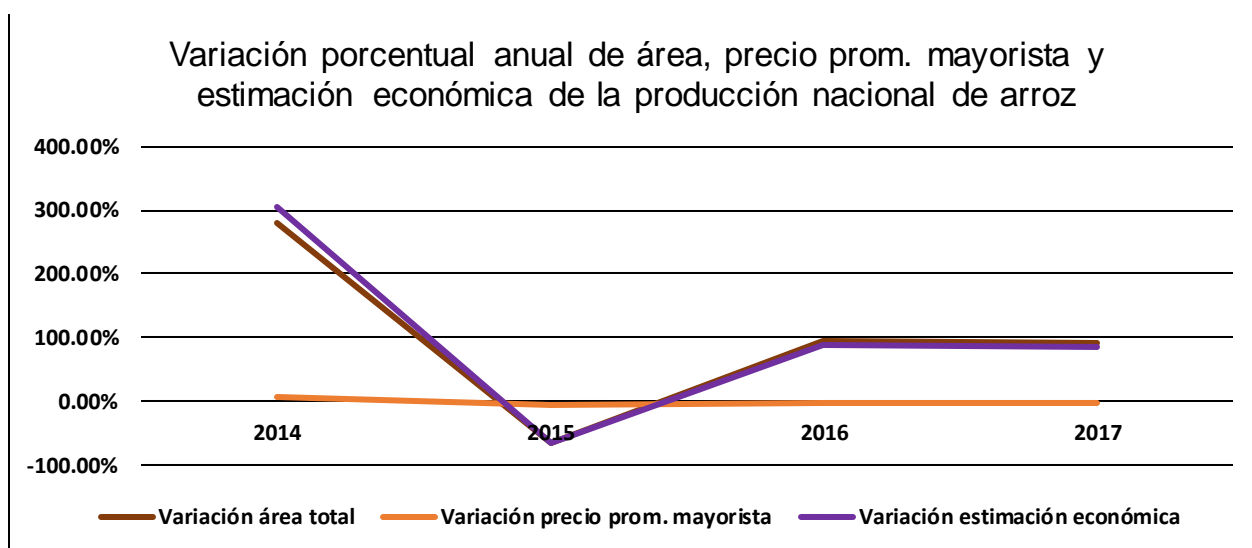
## Arroz

Año	Area 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

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

Tabla 30. Estimación económica de la producción nacional de arroz

A partir de la variación identificada en los parámetros ambientales en la tabla 28, y representada en el gráfico 4: el incremento de la temperatura, la disminución de humedad relativa y el decremento de la cantidad de precipitación acumulada; provocó en 2015 que el área estimada de cultivo de arroz disminuyera a 1,714.62 ha (-64.96% respecto a 2014), que provocó una reducción en la producción obtenida; sin embargo, con la información procesada no se encuentra relación entre todo lo anterior y la disminución del precio por quintal. Existe la posibilidad que hayan influido otras variables como la importación de arroz, altos costos de producción, entre otras; sin embargo, la estimación económica de la producción se vio afectada, disminuyendo un 66.85% respecto a 2014.



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 arroz

### 3.2 Zona Occidental

#### 3.2.1 Mapas de temperatura

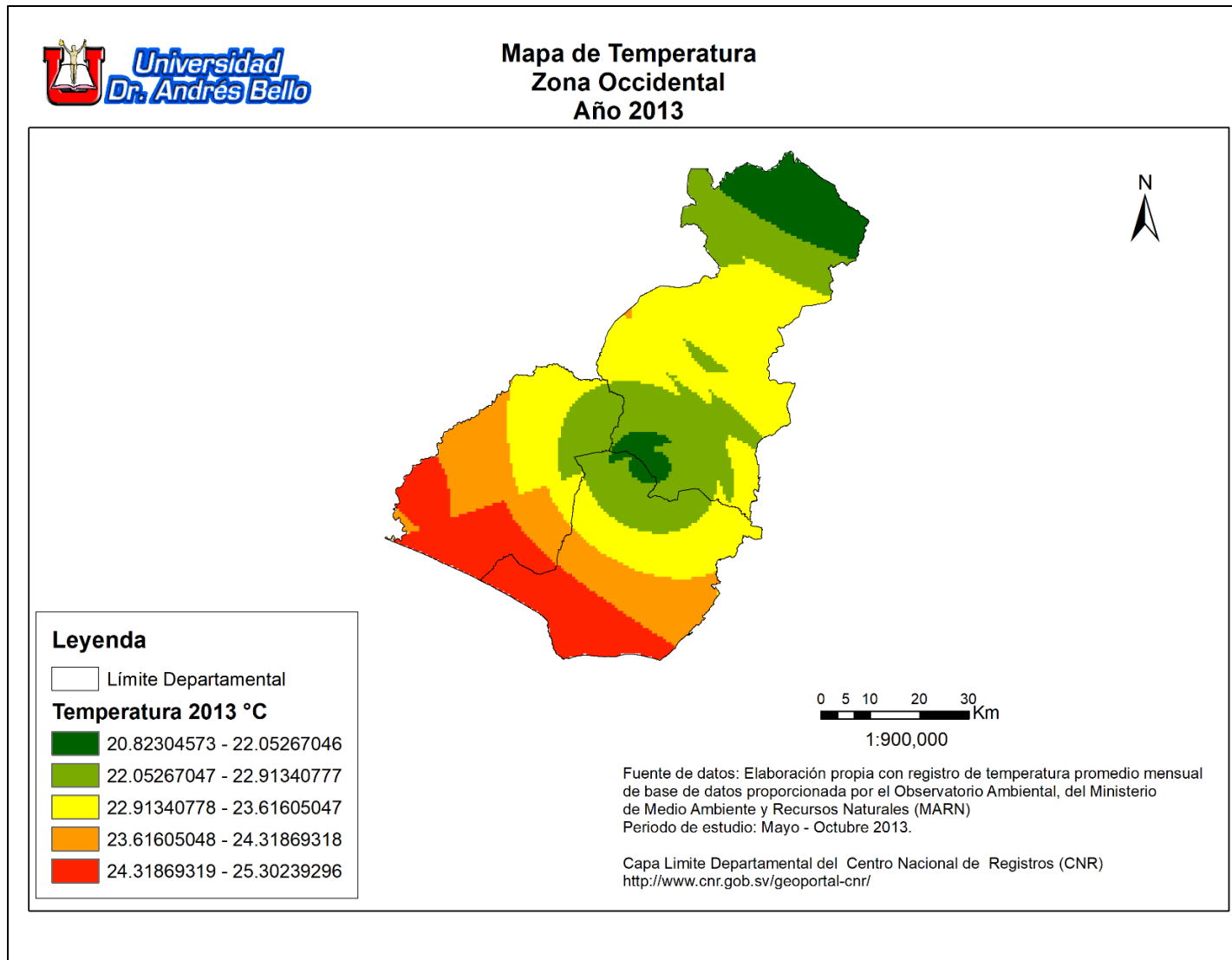


Figura 60. Mapa de temperatura, zona occidental, 2013

Mapa de Temperatura  
Zona Occidental  
Año 2014

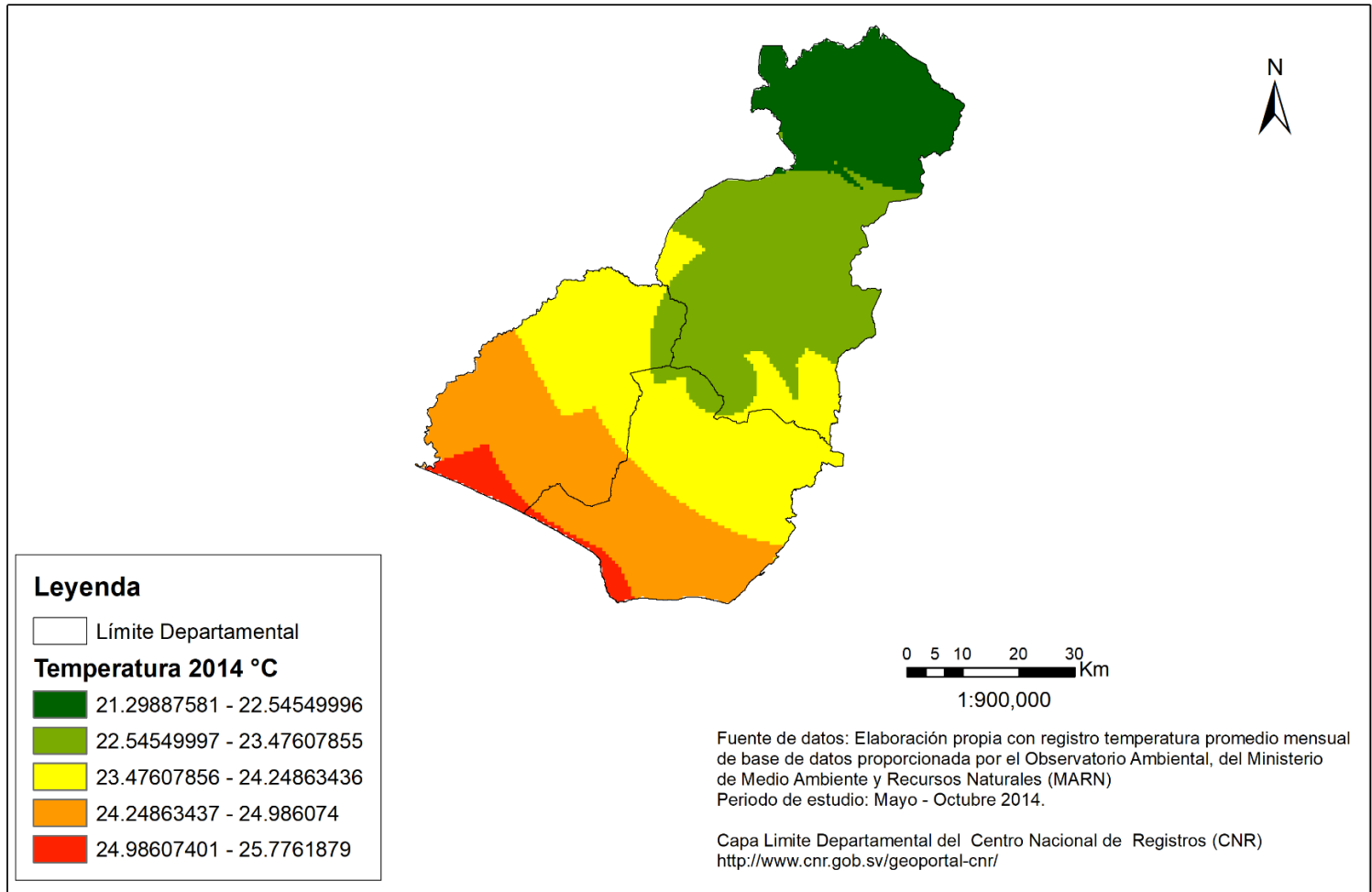


Figura 61. Mapa de temperatura, zona occidental, 2014

Mapa de Temperatura  
Zona Occidental  
Año 2015

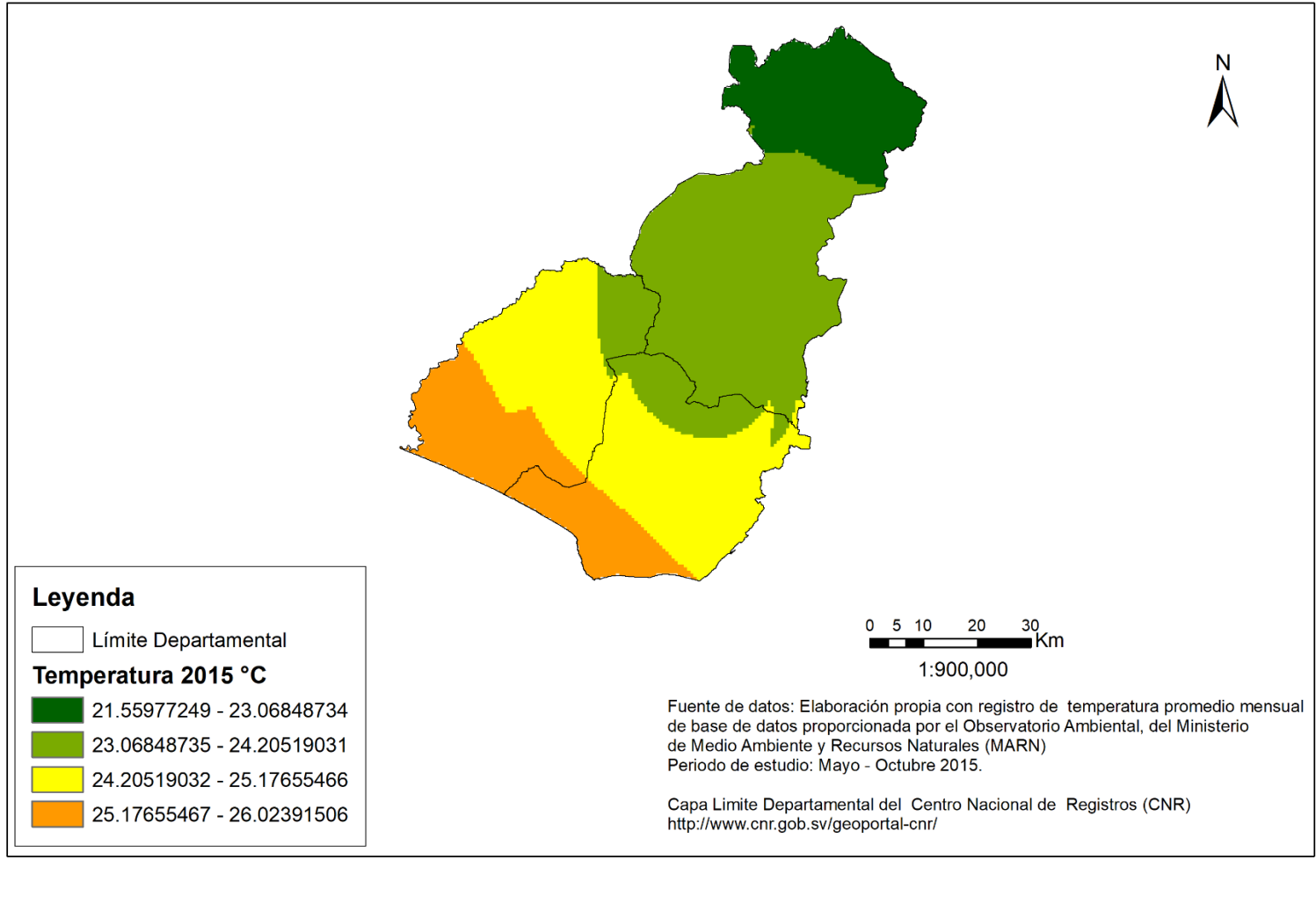


Figura 62. Mapa de temperatura, zona occidental, 2015

Mapa de Temperatura  
Zona Occidental  
Año 2016

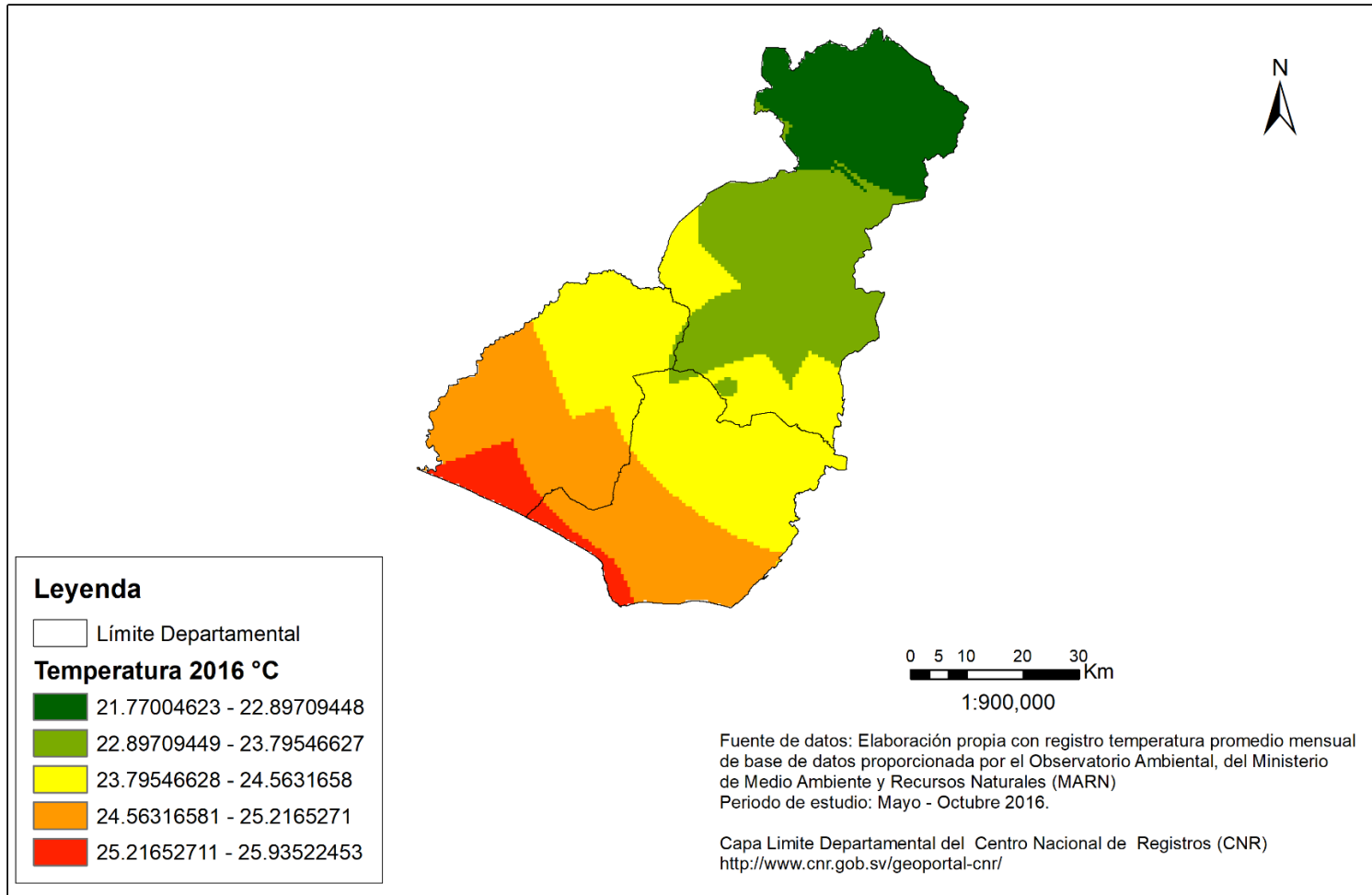


Figura 63. Mapa de temperatura, zona occidental, 2016

Mapa de Temperatura  
Zona Occidental  
Año 2017

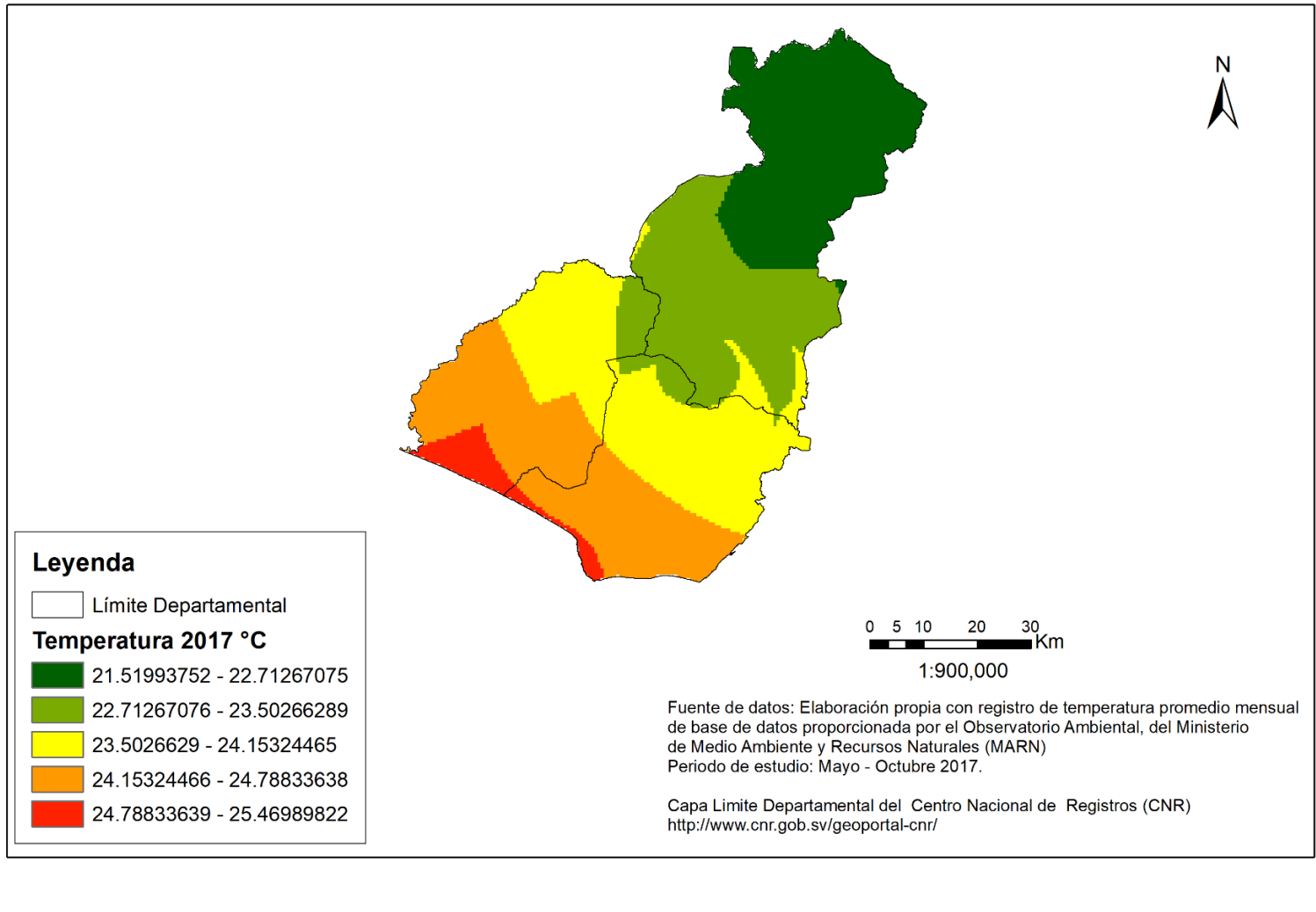


Figura 64. Mapa de temperatura, zona occidental, 2017

### 3.2.2 Mapas de humedad relativa

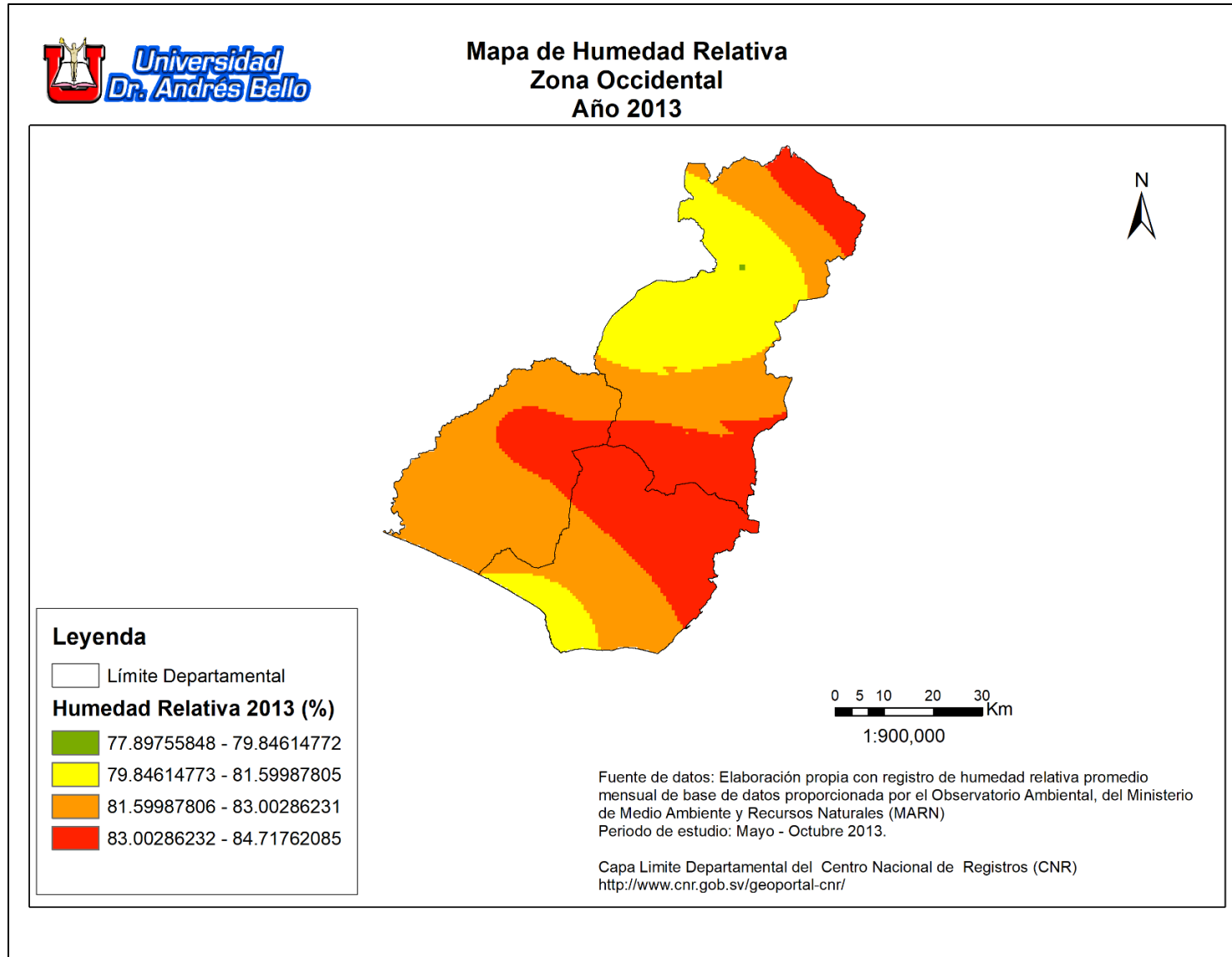


Figura 65. Mapa de humedad relativa, zona occidental, 2013



Mapa de Humedad Relativa  
Zona Occidental  
Año 2014

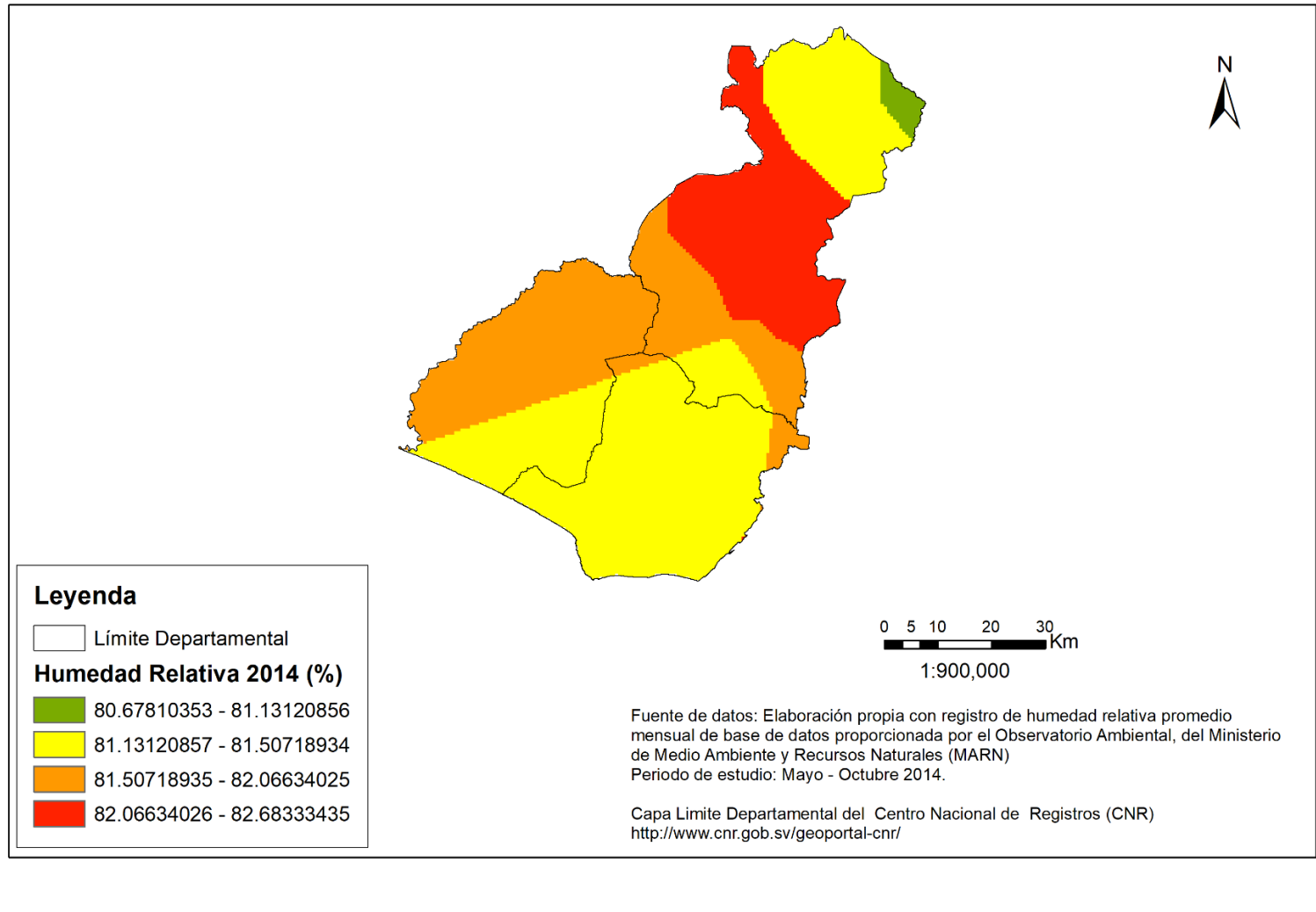


Figura 66. Mapa de humedad relativa, zona occidental, 2014

### Mapa de Humedad Relativa Zona Occidental Año 2015

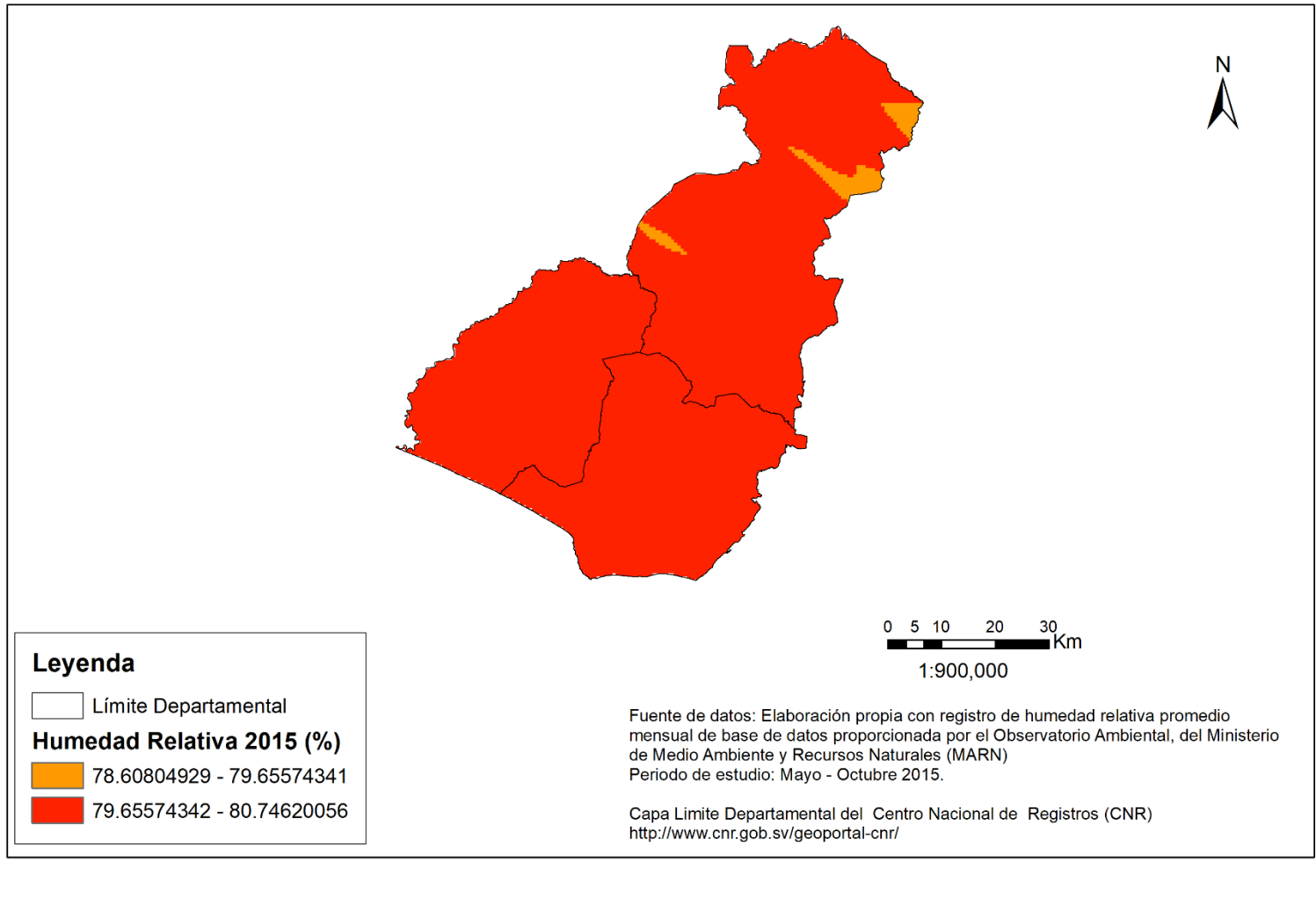


Figura 67. Mapa de humedad relativa, zona occidental, 2015

Mapa de Humedad Relativa  
Zona Occidental  
Año 2016

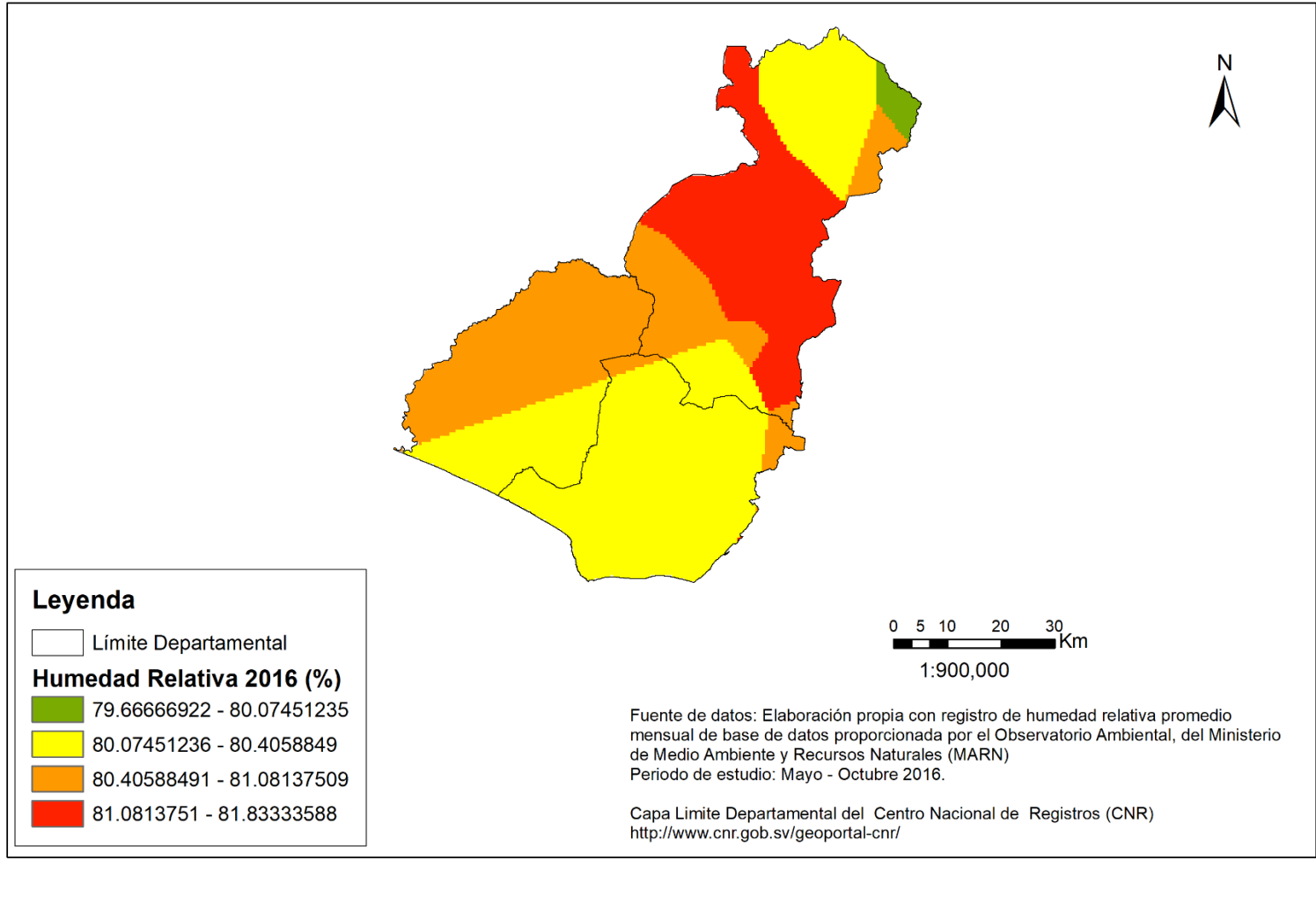


Figura 68. Mapa de humedad relativa, zona occidental, 2016

Mapa de Humedad Relativa  
Zona Occidental  
Año 2017

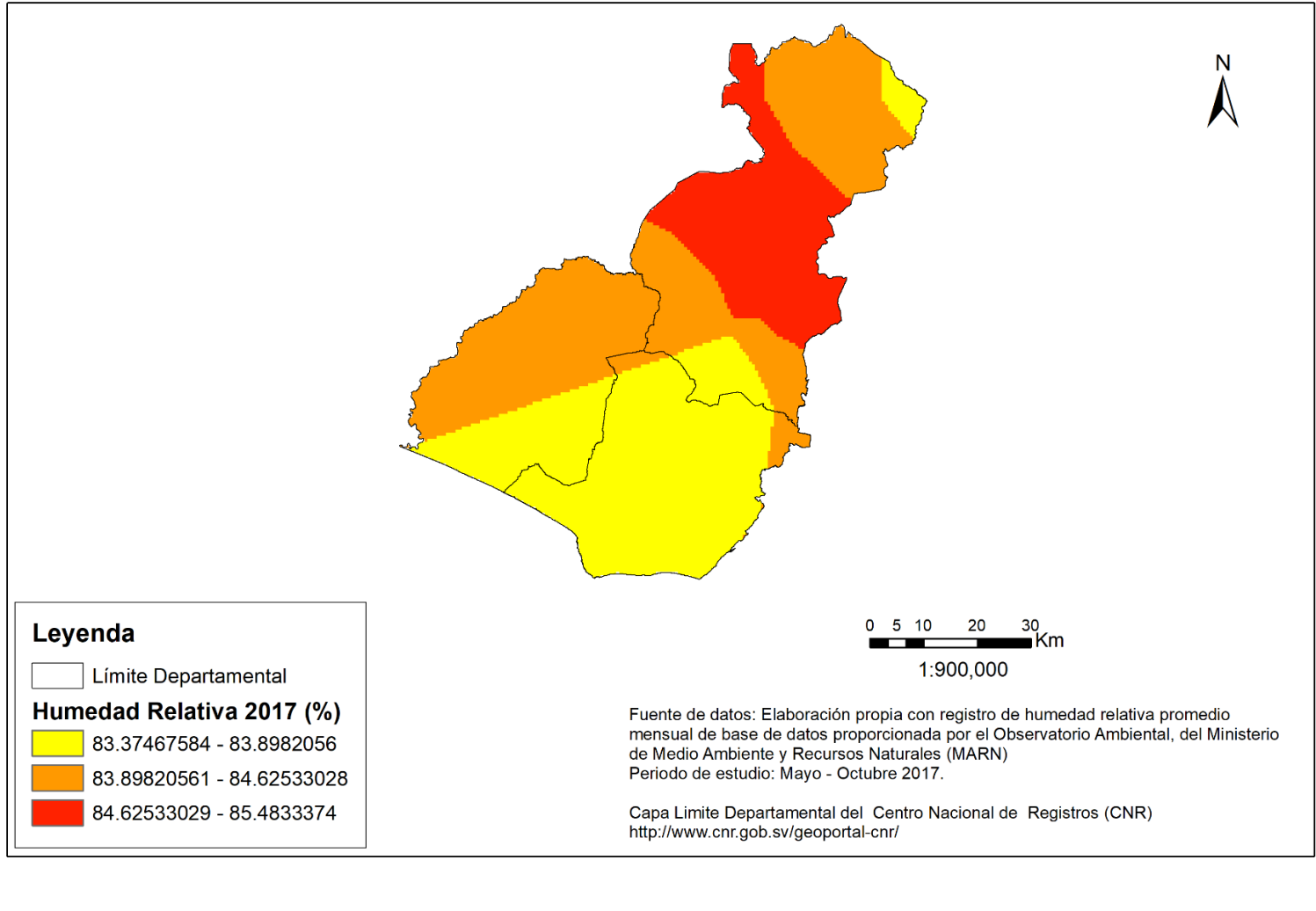


Figura 69. Mapa de humedad relativa, zona occidental, 2017

### 3.2.3 Análisis de correlación, zona occidental

Correlación bivariada 2013						
		Latitud	Metros sobre el nivel del mar	Precipitación acumulada 2013	Temperatura media 2013	Humedad relativa media 2013
Latitud	Correlación de Pearson	1	0.448	0.000	-0.418	0.059
	Sig. (bilateral)		0.227	1.000	0.263	0.881
	N	9	9	9	9	9
Metros sobre el nivel del mar	Correlación de Pearson	0.448	1	.719*	-.991**	0.665
	Sig. (bilateral)	0.227		0.029	0.000	0.051
	N	9	9	9	9	9
Precipitación acumulada 2013	Correlación de Pearson	0.000	.719*	1	-.756*	.781*
	Sig. (bilateral)	1.000	0.029		0.018	0.013
	N	9	9	9	9	9
Temperatura media 2013	Correlación de Pearson	-0.418	-.991**	-.756*	1	-.726*
	Sig. (bilateral)	0.263	0.000	0.018		0.027
	N	9	9	9	9	9
Humedad relativa media 2013	Correlación de Pearson	0.059	0.665	.781*	-.726*	1
	Sig. (bilateral)	0.881	0.051	0.013	0.027	
	N	9	9	9	9	9
*. 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 del MARN

Tabla 31. Correlación bivariada 2013, zona occidental

Correlación bivariada 2014						
		Latitud	Metros sobre el nivel del mar	Precipitación acumulada 2014	Temperatura media 2014	Humedad relativa media 2014
Latitud	Correlación de Pearson	1	0.448	-0.020	-0.451	-0.011
	Sig. (bilateral)		0.227	0.959	0.223	0.978
	N	9	9	9	9	9
Metros sobre el nivel del mar	Correlación de Pearson	0.448	1	.754*	-.992**	.758*
	Sig. (bilateral)	0.227		0.019	0.000	0.018
	N	9	9	9	9	9
Precipitación acumulada 2014	Correlación de Pearson	-0.020	.754*	1	-.759*	.711*
	Sig. (bilateral)	0.959	0.019		0.018	0.032
	N	9	9	9	9	9
Temperatura media 2014	Correlación de Pearson	-0.451	-.992**	-.759*	1	-.804**
	Sig. (bilateral)	0.223	0.000	0.018		0.009
	N	9	9	9	9	9
Humedad relativa media 2014	Correlación de Pearson	-0.011	.758*	.711*	-.804**	1
	Sig. (bilateral)	0.978	0.018	0.032	0.009	
	N	9	9	9	9	9
*. 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 del MARN

Tabla 32. Correlación bivariada 2014, zona occidental

<b>Correlación bivariada 2015</b>						
		Latitud	Metros sobre el nivel del mar	Precipitación acumulada 2015	Temperatura media 2015	Humedad relativa media 2015
<b>Latitud</b>	Correlación de Pearson	1	0.448	0.377	-0.440	-0.061
	Sig. (bilateral)		0.227	0.317	0.236	0.876
	N	9	9	9	9	9
<b>Metros sobre el nivel del mar</b>	Correlación de Pearson	0.448	1	.807**	-.991**	.697*
	Sig. (bilateral)	0.227		0.009	0.000	0.037
	N	9	9	9	9	9
<b>Precipitación acumulada 2015</b>	Correlación de Pearson	0.377	.807**	1	-.843**	0.588
	Sig. (bilateral)	0.317	0.009		0.004	0.096
	N	9	9	9	9	9
<b>Temperatura media 2015</b>	Correlación de Pearson	-0.440	-.991**	-.843**	1	-.750*
	Sig. (bilateral)	0.236	0.000	0.004		0.020
	N	9	9	9	9	9
<b>Humedad relativa media 2015</b>	Correlación de Pearson	-0.061	.697*	0.588	-.750*	1
	Sig. (bilateral)	0.876	0.037	0.096	0.020	
	N	9	9	9	9	9
<b>** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).</b>						
<b>* . La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).</b>						

Fuente: elaboración propia a partir de los datos del MARN

Tabla 33. Correlación bivariada 2015, zona occidental

<b>Correlación bivariada 2016</b>						
		Latitud	Metros sobre el nivel del mar	Precipitación acumulada 2016	Temperatura media 2016	Humedad relativa media 2016
<b>Latitud</b>	Correlación de Pearson	1	0.448	-0.146	-0.422	-0.218
	Sig. (bilateral)		0.227	0.707	0.258	0.573
	N	9	9	9	9	9
<b>Metros sobre el nivel del mar</b>	Correlación de Pearson	0.448	1	0.635	-.990**	.681*
	Sig. (bilateral)	0.227		0.066	0.000	0.043
	N	9	9	9	9	9
<b>Precipitación acumulada 2016</b>	Correlación de Pearson	-0.146	0.635	1	-0.662	.690*
	Sig. (bilateral)	0.707	0.066		0.052	0.040
	N	9	9	9	9	9
<b>Temperatura media 2016</b>	Correlación de Pearson	-0.422	-.990**	-0.662	1	-.731*
	Sig. (bilateral)	0.258	0.000	0.052		0.025
	N	9	9	9	9	9
<b>Humedad relativa media 2016</b>	Correlación de Pearson	-0.218	.681*	.690*	-.731*	1
	Sig. (bilateral)	0.573	0.043	0.040	0.025	
	N	9	9	9	9	9
<b>** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).</b>						
<b>* . La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).</b>						

Fuente: elaboración propia a partir de los datos del MARN

Tabla 34. Correlación bivariada 2016, zona occidental

Correlación bivariada 2017						
		Latitud	Metros sobre el nivel del mar	Precipitación acumulada 2017	Temperatura media 2017	Humedad relativa media 2017
<b>Latitud</b>	Correlación de Pearson	1	0.448	-0.013	-0.428	0.174
	Sig. (bilateral)		0.227	0.975	0.250	0.655
	N	9	9	9	9	9
<b>Metros sobre el nivel del mar</b>	Correlación de Pearson	0.448	1	0.662	-.988**	.749*
	Sig. (bilateral)	0.227		0.052	0.000	0.020
	N	9	9	9	9	9
<b>Precipitación acumulada 2017</b>	Correlación de Pearson	-0.013	0.662	1	-.726*	.889**
	Sig. (bilateral)	0.975	0.052		0.027	0.001
	N	9	9	9	9	9
<b>Temperatura media 2017</b>	Correlación de Pearson	-0.428	-.988**	-.726*	1	-.812**
	Sig. (bilateral)	0.250	0.000	0.027		0.008
	N	9	9	9	9	9
<b>Humedad relativa media 2017</b>	Correlación de Pearson	0.174	.749*	.889**	-.812**	1
	Sig. (bilateral)	0.655	0.020	0.001	0.008	
	N	9	9	9	9	9

\*\* . 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 del MARN

Tabla 35. Correlación bivariada 2017, zona occidental

En general, la precipitación acumulada presenta una correlación inversa con la temperatura promedio, obteniendo coeficientes entre 0.726 y 0.843. Por otra parte, la precipitación tiene una correlación directa con metros sobre el nivel del mar (msnm) y con humedad relativa. La variable latitud no tuvo correlación con ninguna de las variables. La temperatura media presentó correlación inversa con msnm, obteniendo coeficientes entre 0.988 y 0.992. Finalmente, la temperatura mostró una correlación inversa con la humedad relativa, con coeficientes entre 0.726 y 0.812.

Por tanto, en el caso de la zona occidental, se realizó el modelamiento lineal, pues con el análisis de correlación se determinó la posibilidad de realizar el procedimiento de regresión, colocando como variable dependiente la precipitación, y como variables independientes: MSNM, temperatura media y humedad relativa.

### 3.2.4 Modelos de regresión lineal anuales

2013

Resumen del modelo				
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	.829 <sup>a</sup>	0.687	0.499	261.5987
a. Predictores: (Constante), Humedad relativa media 2013, Metros sobre el nivel del mar, Temperatura media 2013				

Fuente: elaboración propia a partir de los datos del MARN

*Tabla 36. Resumen modelo de regresión lineal anual 2013, zona occidental*

ANOVA <sup>a</sup>						
Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	751064.601	3	250354.867	3.658	.098 <sup>b</sup>
	Residuo	342169.428	5	68433.886		
	Total	1093234.029	8			
a. Variable dependiente: Precipitación acumulada 2013						
b. Predictores: (Constante), Humedad relativa media 2013, Metros sobre el nivel del mar, Temperatura media 2013						

Fuente: elaboración propia a partir de los datos del MARN

*Tabla 37. Análisis de varianza, modelo de regresión lineal anual 2013, zona occidental*

2014

Resumen del modelo				
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	.786 <sup>a</sup>	0.618	0.388	381.4349
a. Predictores: (Constante), Humedad relativa media 2014, Metros sobre el nivel del mar, Temperatura media 2014				

Fuente: elaboración propia a partir de los datos del MARN

*Tabla 38. Resumen modelo de regresión lineal anual 2014, zona occidental*

ANOVA <sup>a</sup>						
Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	1174523.651	3	391507.884	2.691	.157 <sup>b</sup>
	Residuo	727462.784	5	145492.557		
	Total	1901986.436	8			
a. Variable dependiente: Precipitación acumulada 2014						
b. Predictores: (Constante), Humedad relativa media 2014, Metros sobre el nivel del mar, Temperatura media 2014						

Fuente: elaboración propia a partir de los datos del MARN

*Tabla 39. Análisis de varianza, modelo de regresión lineal anual 2014, zona occidental*



2015

Resumen del modelo				
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	.889 <sup>a</sup>	0.790	0.664	200.5727
a. Predictores: (Constante), Humedad relativa media 2015, Metros sobre el nivel del mar, Temperatura media 2015				

Fuente: elaboración propia a partir de los datos del MARN

Tabla 40. Resumen modelo de regresión lineal anual 2015, zona occidental

ANOVA <sup>a</sup>						
Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	757351.549	3	252450.516	6.275	.038 <sup>b</sup>
	Residuo	201146.953	5	40229.391		
	Total	958498.502	8			
a. Variable dependiente: Precipitación acumulada 2015						
b. Predictores: (Constante), Humedad relativa media 2015, Metros sobre el nivel del mar, Temperatura media 2015						

Fuente: elaboración propia a partir de los datos del MARN

Tabla 41. Análisis de varianza, modelo de regresión lineal anual 2015, zona occidental

2016

Resumen del modelo				
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	.728 <sup>a</sup>	0.530	0.248	192.4082
a. Predictores: (Constante), Humedad relativa media 2016, Metros sobre el nivel del mar, Temperatura media 2016				

Fuente: elaboración propia a partir de los datos del MARN

Tabla 42. Resumen modelo de regresión lineal anual 2016, zona occidental

ANOVA <sup>a</sup>						
Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	208840.853	3	69613.618	1.880	.251 <sup>b</sup>
	Residuo	185104.667	5	37020.933		
	Total	393945.520	8			
a. Variable dependiente: Precipitación acumulada 2016						
b. Predictores: (Constante), Humedad relativa media 2016, Metros sobre el nivel del mar, Temperatura media 2016						

Fuente: elaboración propia a partir de los datos del MARN

Tabla 43. Análisis de varianza, modelo de regresión lineal anual 2016, zona occidental

2017

Resumen del modelo				
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	.892 <sup>a</sup>	0.795	0.672	233.6353

a. Predictores: (Constante), Humedad relativa media 2017, Metros sobre el nivel del mar, Temperatura media 2017

Fuente: elaboración propia a partir de los datos del MARN

Tabla 44. Resumen modelo de regresión lineal anual 2017, zona occidental

ANOVA <sup>a</sup>						
Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	1059323.185	3	353107.728	6.469	.036 <sup>b</sup>
	Residuo	272927.223	5	54585.445		
	Total	1332250.409	8			

a. Variable dependiente: Precipitación acumulada 2017

b. Predictores: (Constante), Humedad relativa media 2017, Metros sobre el nivel del mar, Temperatura media 2017

Fuente: elaboración propia a partir de los datos del MARN

Tabla 45. Análisis de varianza, modelo de regresión lineal anual 2017, zona occidental

Año	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Sig
2013	0.829	0.687	0.499	0.098
2014	0.786	0.618	0.388	0.157
2015	0.889	0.790	0.664	0.038
2016	0.728	0.530	0.248	0.251
2017	0.892	0.795	0.672	0.036

Fuente: elaboración propia a partir de los datos del MARN

Tabla 46. Resumen de modelos de regresión lineal anuales 2013-2017, zona occidental

Luego de realizar los modelos de regresión lineal anuales para la zona occidental, se comprobó que existen coeficientes de correlación aceptables desde  $R= 0.728$  (2016) hasta  $R= 0.892$  (2017); sin embargo, al realizar el ajuste a los coeficientes de determinación, se obtuvo valores  $R^2$  ajustado=  $0.248$  (2016) hasta  $R^2$  ajustado=  $0.672$  (2017), lo cual indica que en general los modelos de regresión lineal obtenidos con las variables independientes introducidas, no pueden predecir más del 50% de la variación de la precipitación (variable dependiente), excepto el modelo de 2015.

Al contrastar los coeficientes de determinación ajustados, se identificaron únicamente dos significancias en el nivel 0.05 en los años 2015 (Sig.=0.038) y en el año 2017 (0.036), lo cual confirma que estos dos modelos son los que presentan mayor precisión.

### 3.2.4 Análisis de variación de parámetros ambientales, áreas y precios del maíz y arroz, zona occidental

#### 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	53,170.08		23.06		81.31		1,763.00		\$14.34		\$0.20	
2014	84,809.20	59.51%	23.54	2.08%	81.68	0.46%	1,882.00	6.75%	\$16.58	15.62%	\$0.22	10.00%
2015	96,664.58	13.98%	23.79	1.06%	79.68	-2.45%	1,473.00	-21.73%	\$20.03	20.81%	\$0.24	9.09%
2016	71,160.73	-26.38%	23.86	0.27%	80.75	1.34%	1,386.00	-5.91%	\$18.20	-9.14%	\$0.22	-8.33%
2017	86,091.41	20.98%	23.50	-1.51%	84.43	4.55%	1,726.00	24.53%	\$12.20	-32.97%	\$0.19	-13.64%

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

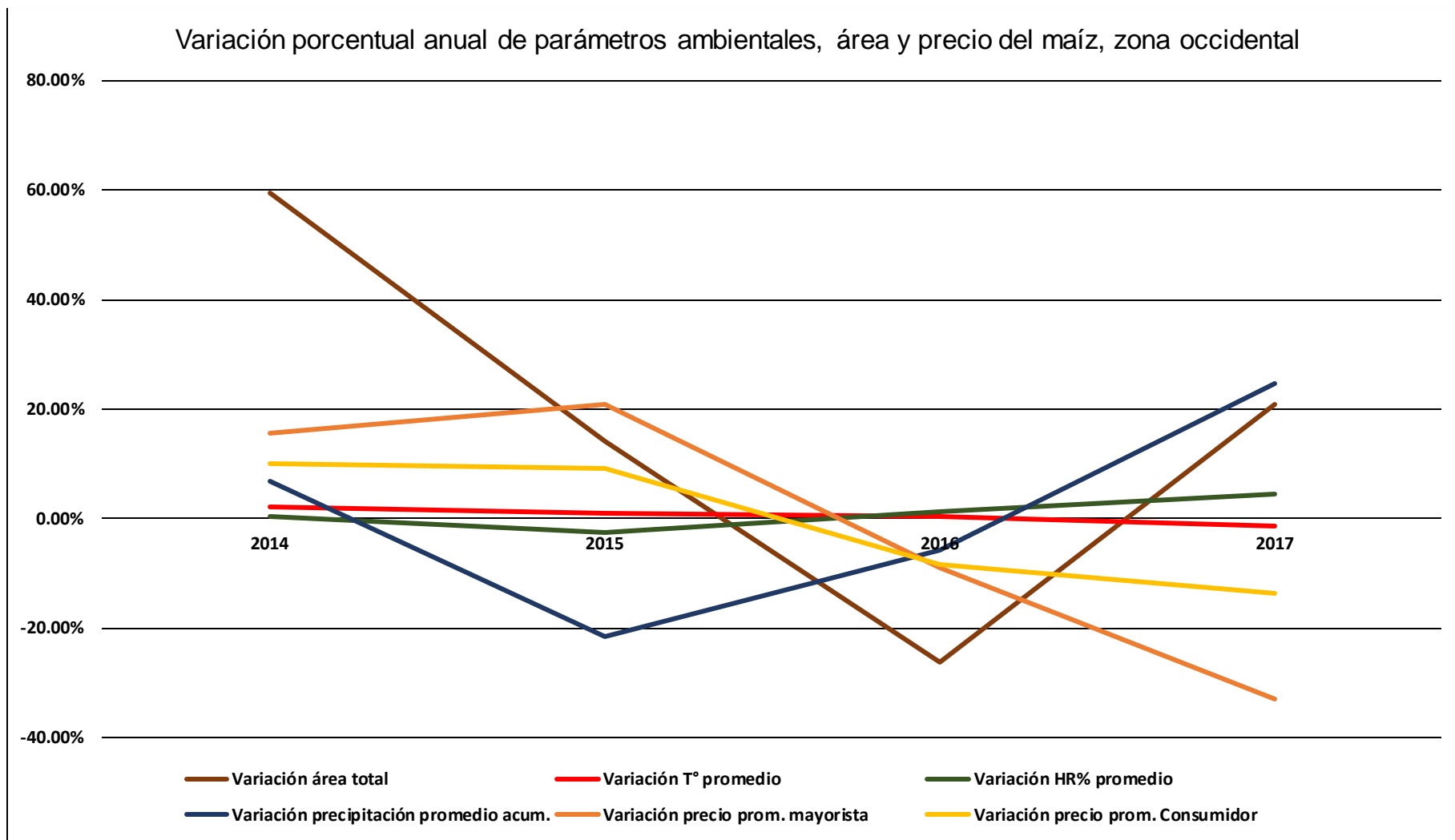
Tabla 47. Variación de parámetros ambientales, área y precio del maíz, zona occidental

#### 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	268.99		23.06		81.31		1,763.00		\$38.05		\$0.47	
2014	1,858.15	590.78%	23.54	2.08%	81.68	0.46%	1,882.00	6.75%	\$40.44	6.28%	\$0.50	6.38%
2015	295.64	-84.09%	23.79	1.06%	79.68	-2.45%	1,473.00	-21.73%	\$38.26	-5.39%	\$0.47	-6.00%
2016	582.87	97.15%	23.86	0.27%	80.75	1.34%	1,386.00	-5.91%	\$36.80	-3.82%	\$0.45	-4.26%
2017	1,777.89	205.02%	23.50	-1.51%	84.43	4.55%	1,726.00	24.53%	\$35.40	-3.80%	\$0.45	0.00%

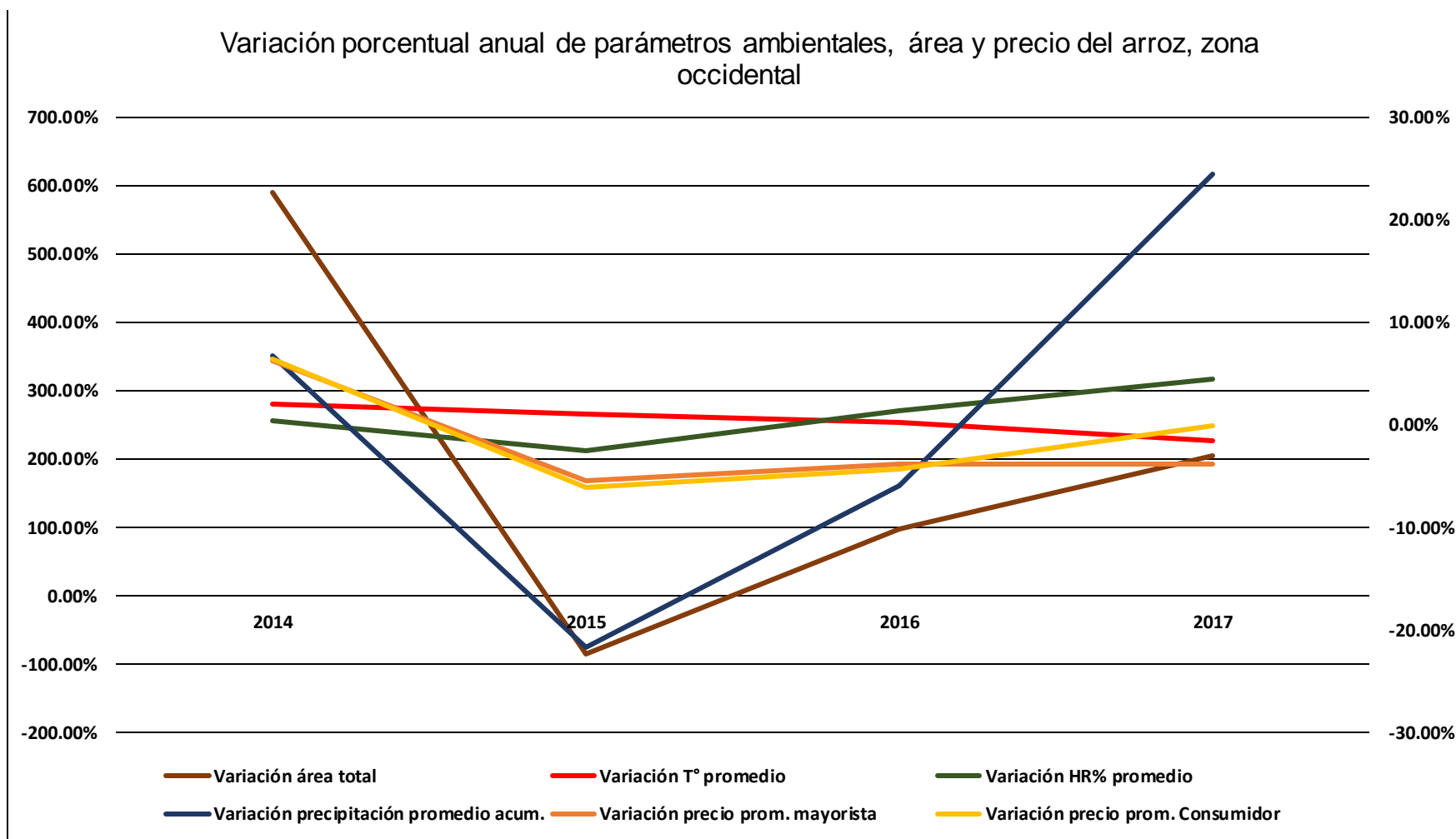
Fuente: elaboración propia a partir de los datos del MARN y de los anuarios de estadísticas de la DGEA

Tabla 48. Variación de parámetros ambientales, área y precio del arroz, zona occidental



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 maíz, zona occidental



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 arroz, zona occidental<sup>12</sup>

<sup>12</sup> 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).

## Maíz

En el año 2016 respecto a 2015, se obtuvo según los mapas generados mediante kriging, una temperatura promedio de 23.86 °C (0.27 % de aumento), lo cual implicó una humedad relativa de 80.75% (1.34% de aumento). Según Rivas et al (2019), la precipitación acumulada presentó una disminución de 5.91% (reportando 1,386 mm) y un área estimada de 71,160.73 ha, con una disminución de 36.38%. En este caso particular no se observa la relación inversa entre temperatura y humedad relativa. Lo que sí se pudo verificar fue que al aumento de temperatura, correspondió una disminución en la precipitación; y por tanto, una disminución en el área. Por otra parte, no se encuentra relación entre la variación de los parámetros ambientales, el área estimada y los precios tanto a nivel mayorista como también del consumidor, pues a pesar de la disminución del área del cultivo, ambos precios reflejaron un decremento.

En 2017, en comparación con 2016, la temperatura bajó a 23.50 °C (disminución de 1.51%). Al mismo tiempo, se obtuvo una humedad relativa de 84.43%, lo que implicó un aumento de 4.55%. En el caso de la precipitación, según Rivas et al (2019), este parámetro ambiental tuvo un valor de 1,726 mm con un aumento de 24.53%; y el área de cultivo de maíz ascendió a 86,091.41 ha. En este sentido se encuentra que una disminución en temperatura tiene relación con el aumento de lluvia, y a su vez, con el aumento del área estimada. En 2017 si se observa una relación de tipo inversa entre el aumento del área estimada cultivada y los precios.

## Arroz

En el año 2015 respecto a 2014, se determinó una temperatura media de 23.79°C, registrando aumento de 1.06%, una humedad relativa de 79.68% (disminución de 2.45%). Según Rivas et al (2019), la precipitación obtenida fue de 1,473 mm (con decremento de 21.73) y una reducción de 84.09% en el área estimada del cultivo. En este caso, los precios de mayorista y consumidor registraron una disminución, lo cual no puede explicarse con las variables incluidas en la investigación, ya que el área estimada se redujo. Es posible que haya influido la importación de arroz u otro factor. Tomando como referencia la variación de parámetros ambientales reportada en 2017, el área estimada de cultivo aumentó a 1,777.89 ha; por tanto, podría existir una relación inversa entre el área con los precios de mayorista y consumidor, pues ambos reportaron disminución.

### 3.2.5 Estimación económica de la producción de maíz y arroz, zona occidental

#### Maíz

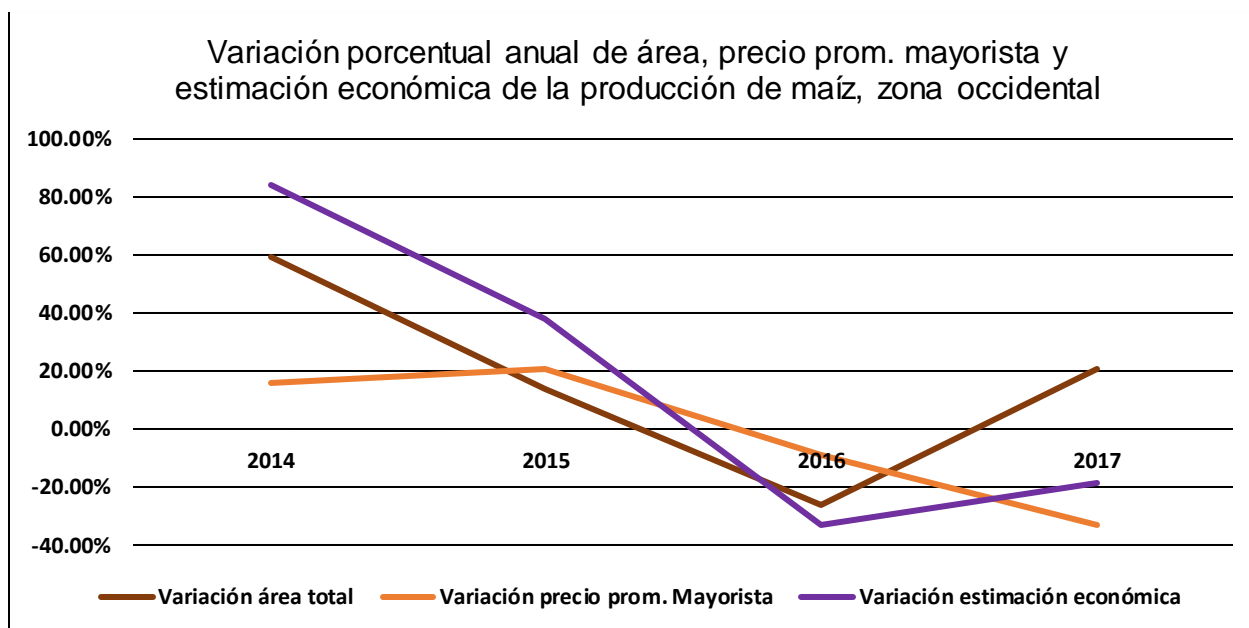
Año	Área total (ha)	Rendimiento	Unidad área	Producción estimada (qq)	Precio prom. Mayorista (USD/qq)	Estimación económica a precio prom. mayorista
2013	53,170.08	115.65	qq/ha	6,149,119.78	\$14.34	\$88,178,377.70
2014	84,809.20			9,808,183.65	\$16.58	\$162,619,684.99
2015	96,664.58			11,179,258.35	\$20.03	\$223,920,544.82
2016	71,160.73			8,229,738.02	\$18.20	\$149,781,231.97
2017	86,091.41			9,956,471.41	\$12.20	\$121,468,951.23

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

Tabla 49. Estimación económica de la producción de maíz, zona occidental

Según la variación de los parámetros ambientales estudiados, y la disminución en el área de cultivo de maíz para el año 2016 (ver tabla 47 y gráfico 7), la zona occidental se vio afectada en cuanto a la producción, lo cual provocó una reducción de 33.11% en la estimación económica respecto a 2015.

En el año 2017, la producción aumentó un 20.98% (respecto a 2016); sin embargo, se registró una disminución de 32.97% en el precio del quintal de maíz; lo cual afectó la estimación económica 2017.



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

Gráfico 9. Variación porcentual anual de área, precio prom. mayorista y estimación económica de la producción de maíz, zona occidental

## Arroz

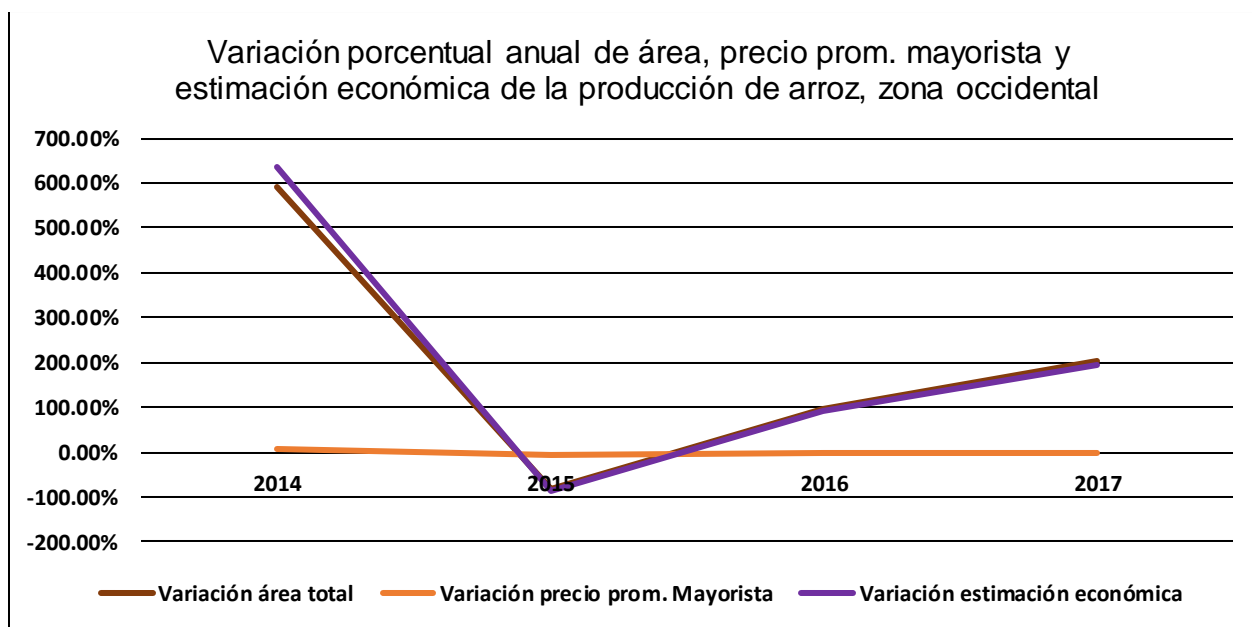
Año	Área total (ha)	Rendimiento	Unidad área	Producción estimada (qq)	Precio prom. Mayorista (USD/qq)	Estimación económica a precio prom. mayorista
2013	268.99	256	qq/ha	68,861.84	\$38.05	\$2,620,193.13
2014	1,858.15			475,686.10	\$40.44	\$19,236,745.81
2015	295.64			75,684.71	\$38.26	\$2,895,697.16
2016	582.87			149,214.26	\$36.80	\$5,491,084.87
2017	1,777.89			455,140.42	\$35.40	\$16,111,970.85

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

Tabla 50. Estimación económica de la producción de arroz, zona occidental

En el caso del arroz en la zona occidental, el comportamiento de los precios no siempre se corresponde con la variación del área total para cada año, ya que debería existir una relación inversa. Para el año 2015 hubo una reducción de 84.09% respecto a 2014, lo que afectó la producción y por tanto, la estimación económica de ese año.

En el año 2017 se determinó un aumento del área del cultivo de 205.02%, respecto a 2016; lo que favoreció la producción y tuvo un impacto positivo en la estimación económica. Es importante mencionar que 2017 fue el año con una de las menores temperaturas, la mayor humedad relativa, y precipitación acumulada aceptable.



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 arroz, zona occidental



### 3.3 Zona Norte

#### 3.3.1 Mapas de temperatura

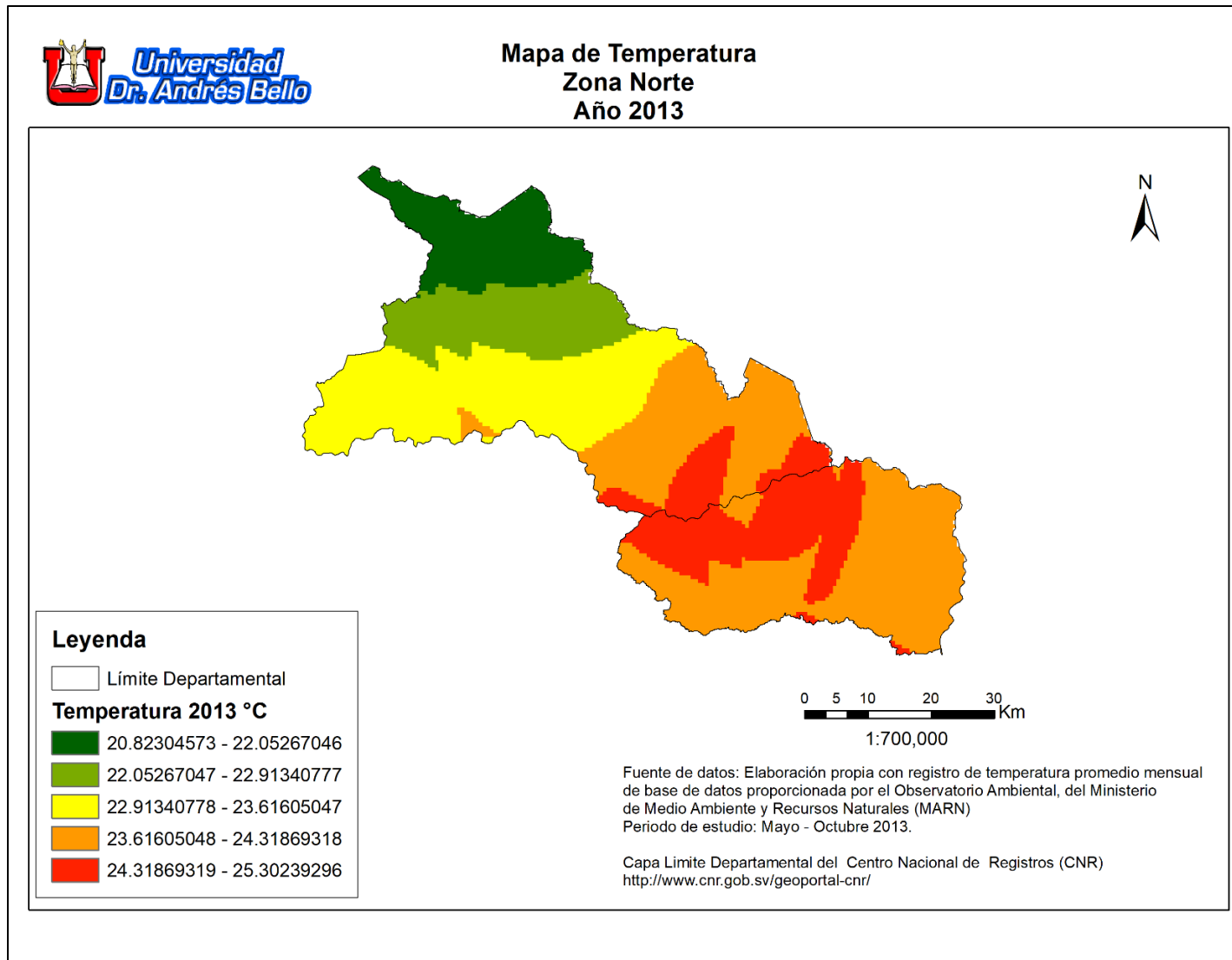


Figura 70. Mapa de temperatura, zona norte, 2013

Mapa de Temperatura  
Zona Norte  
Año 2014

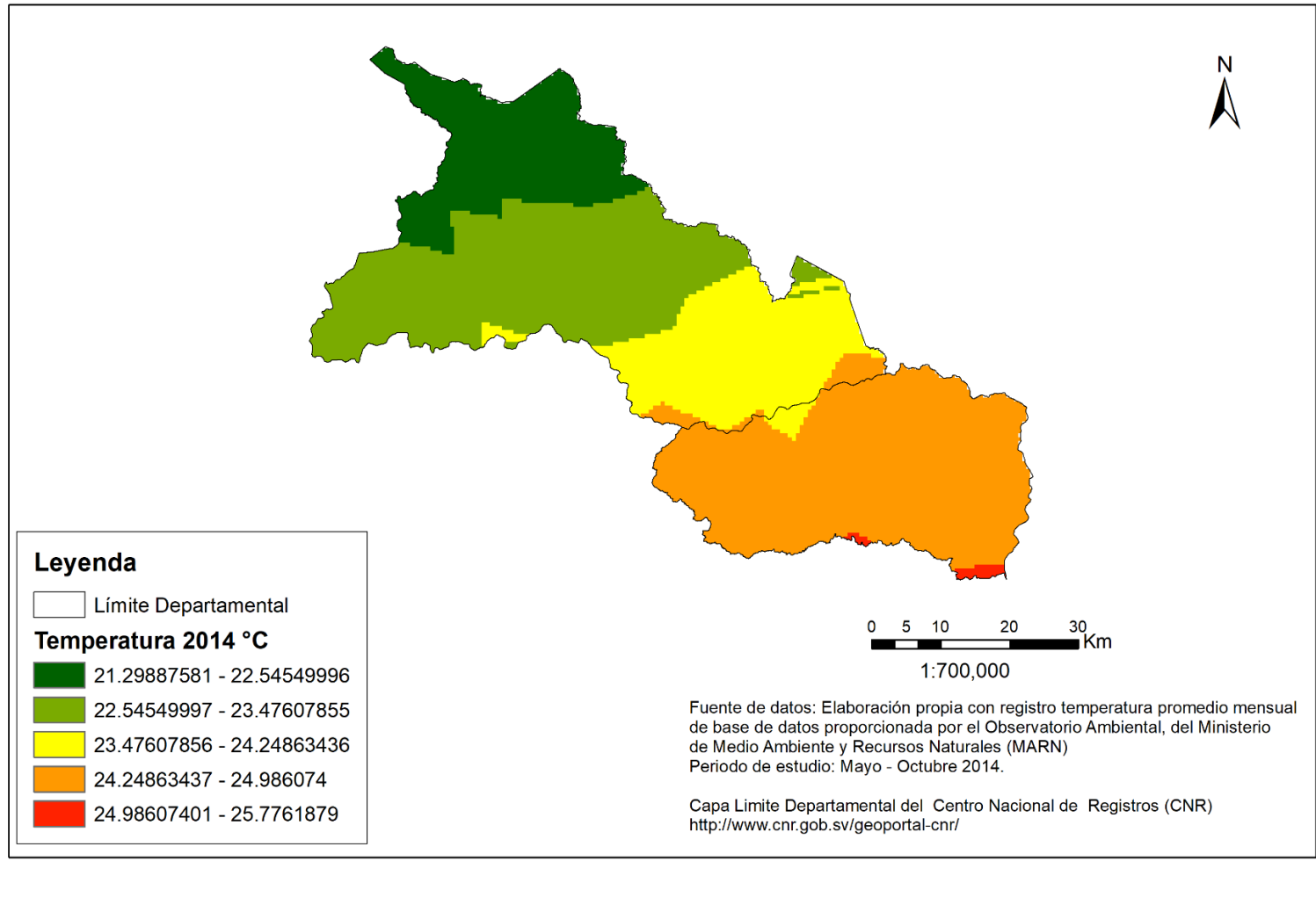


Figura 71. Mapa de temperatura, zona norte, 2014

Mapa de Temperatura  
Zona Norte  
Año 2015

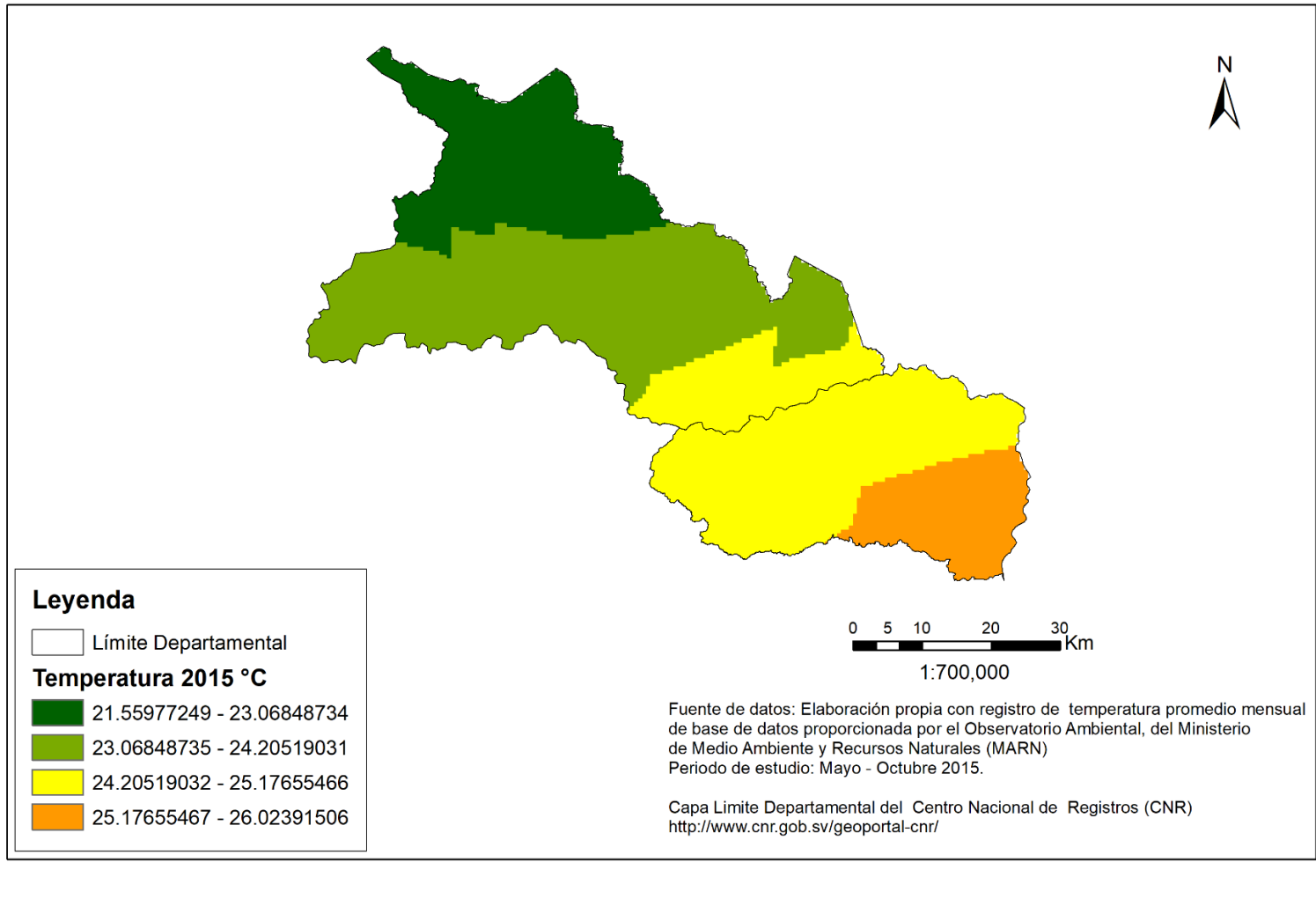


Figura 72. Mapa de temperatura, zona norte, 2015

Mapa de Temperatura  
Zona Norte  
Año 2016

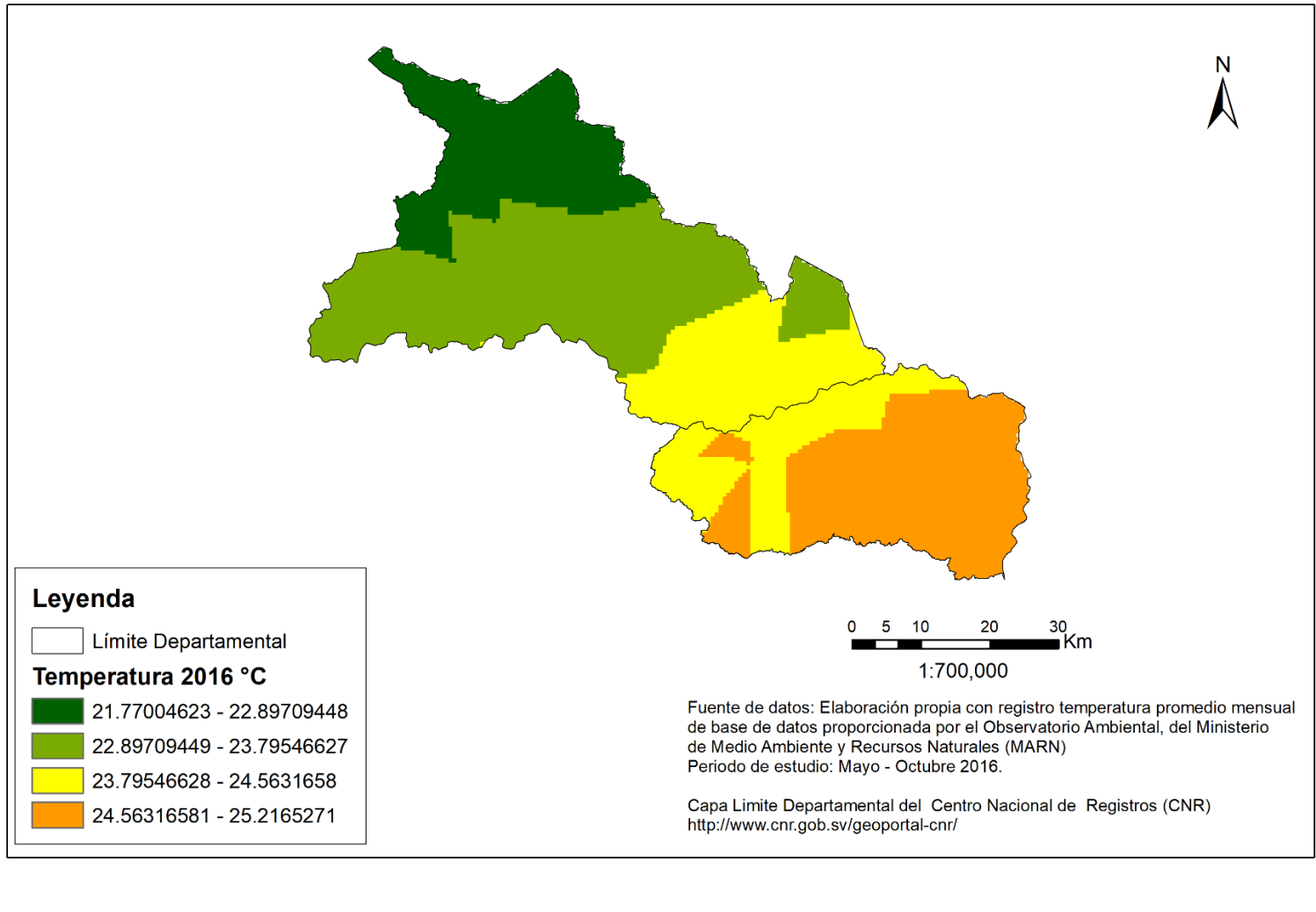


Figura 73. Mapa de temperatura, zona norte, 2016

Mapa de Temperatura  
Zona Norte  
Año 2017

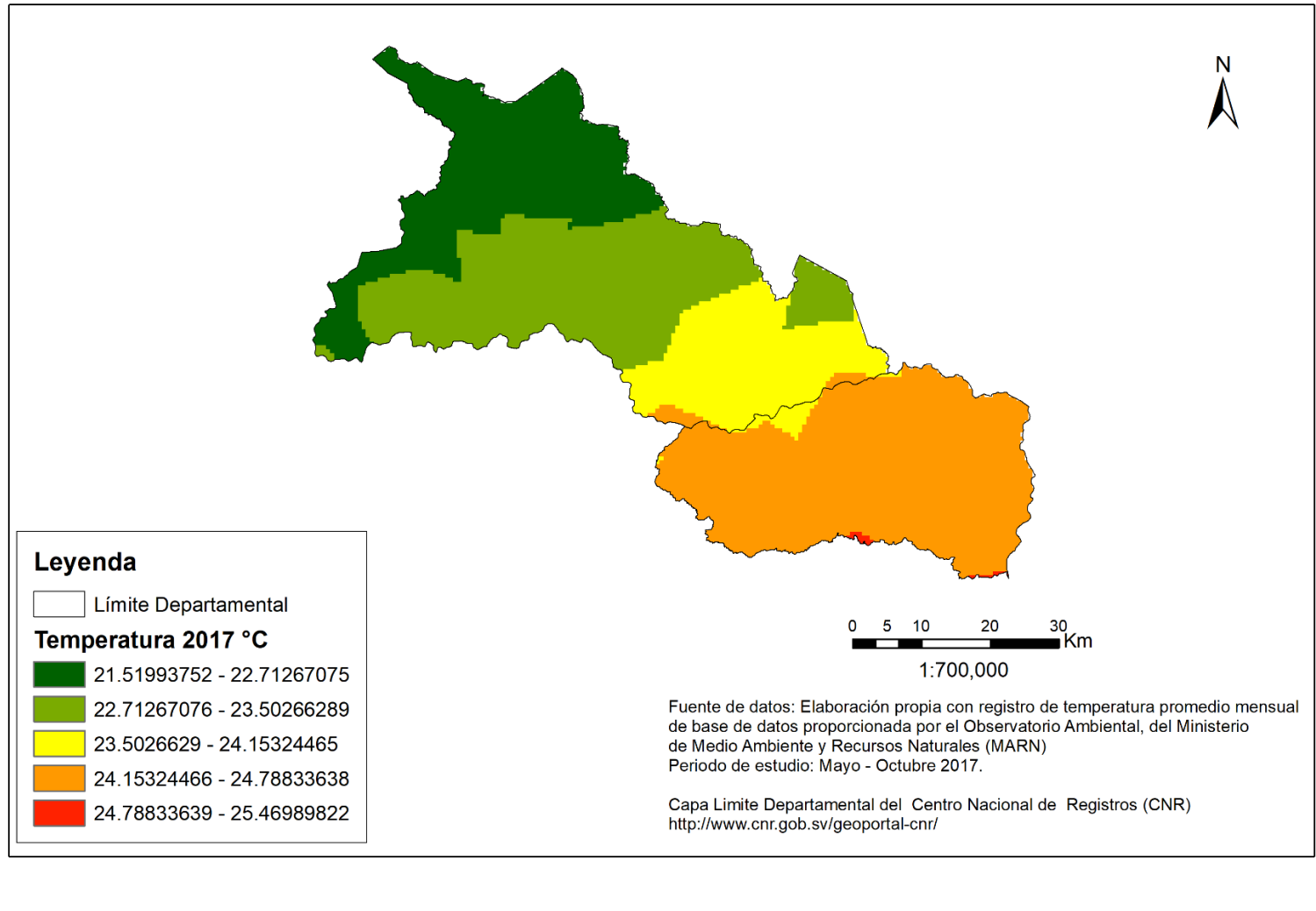


Figura 74. Mapa de temperatura, zona norte, 2017

### 3.3.2 Mapas de humedad relativa

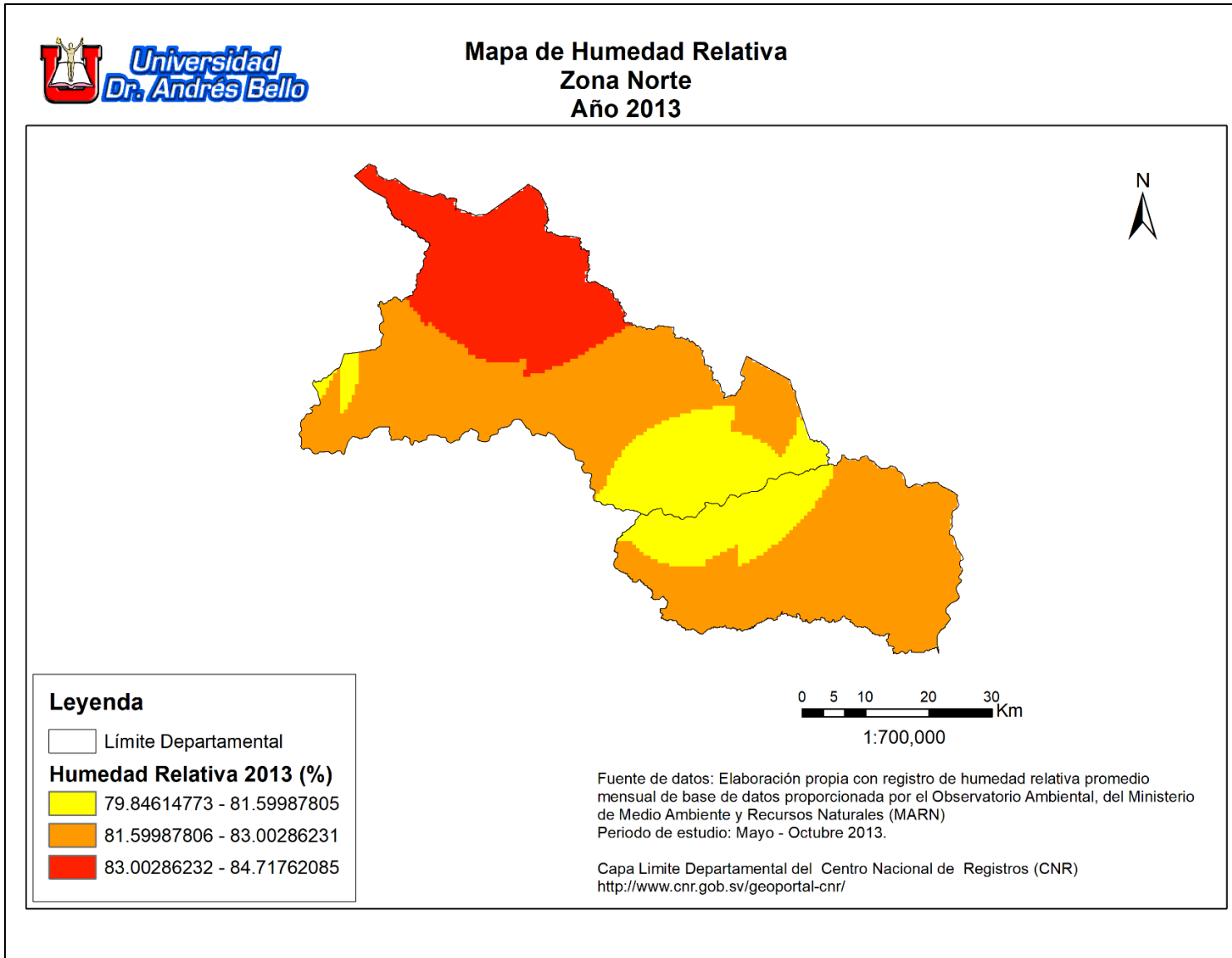


Figura 75. Mapa de humedad relativa, zona norte, 2013

Mapa de Humedad Relativa  
Zona Norte  
Año 2014

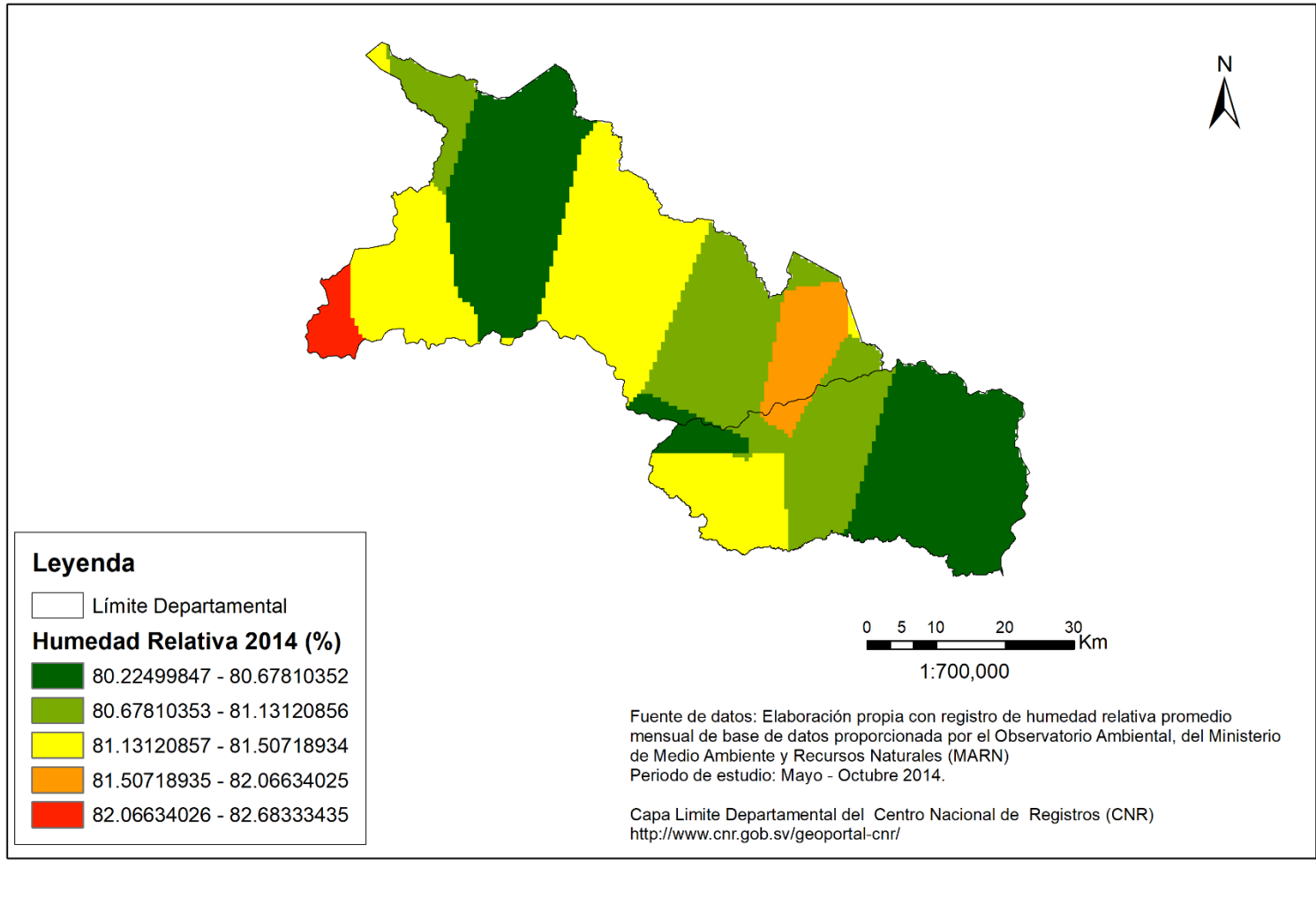


Figura 76. Mapa de humedad relativa, zona norte, 2014

Mapa de Humedad Relativa  
Zona Norte  
Año 2015

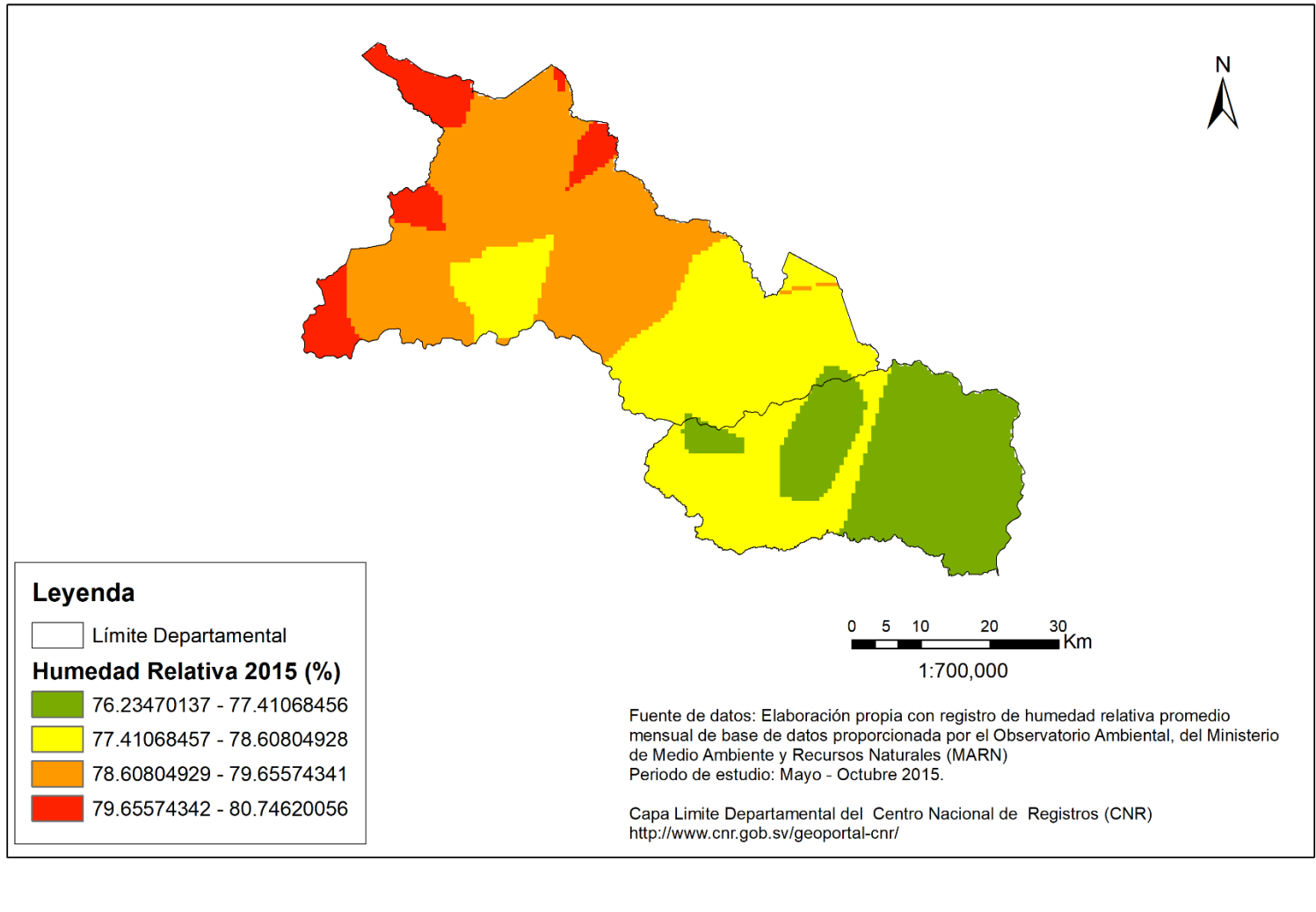


Figura 77. Mapa de humedad relativa, zona norte, 2015



Mapa de Humedad Relativa  
Zona Norte  
Año 2016

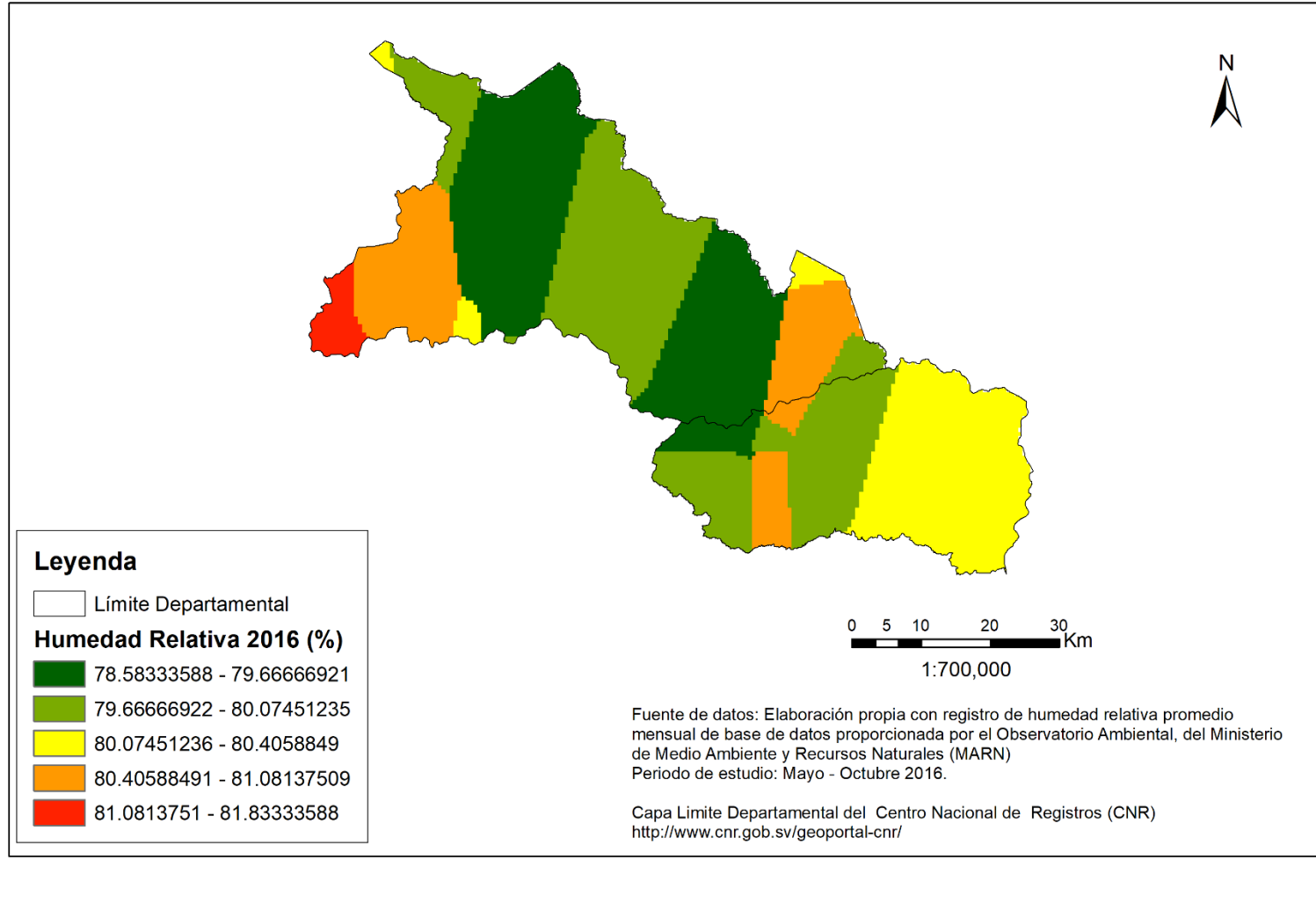


Figura 78. Mapa de humedad relativa, zona norte, 2016

Mapa de Humedad Relativa  
Zona Norte  
Año 2017

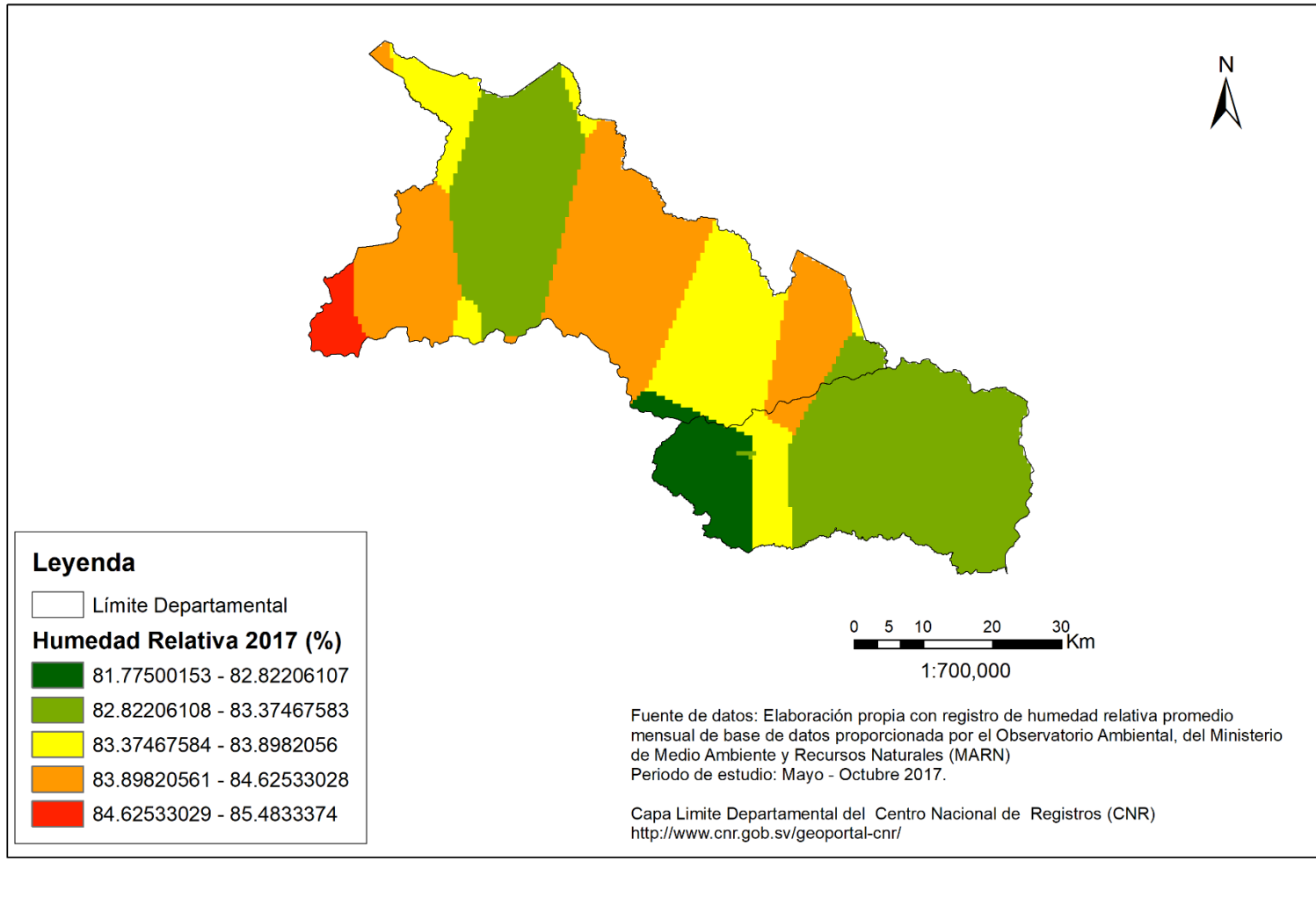


Figura 79. Mapa de humedad relativa, zona norte, 2017

### 3.3.3 Análisis de correlación, zona norte

Correlación bivariada 2013						
		Latitud	Metros sobre el nivel del mar	Precipitación acumulada 2013	Temperatura media 2013	Humedad relativa media 2013
<b>Latitud</b>	Correlación de Pearson	1	0.783	0.308	-0.778	0.440
	Sig. (bilateral)		0.065	0.553	0.068	0.383
	N	6	6	6	6	6
<b>Metros sobre el nivel del mar</b>	Correlación de Pearson	0.783	1	0.002	-.994**	0.583
	Sig. (bilateral)	0.065		0.998	0.000	0.225
	N	6	6	6	6	6
<b>Precipitación acumulada 2013</b>	Correlación de Pearson	0.308	0.002	1	-0.025	0.348
	Sig. (bilateral)	0.553	0.998		0.962	0.499
	N	6	6	6	6	6
<b>Temperatura media 2013</b>	Correlación de Pearson	-0.778	-.994**	-0.025	1	-0.554
	Sig. (bilateral)	0.068	0.000	0.962		0.254
	N	6	6	6	6	6
<b>Humedad relativa media 2013</b>	Correlación de Pearson	0.440	0.583	0.348	-0.554	1
	Sig. (bilateral)	0.383	0.225	0.499	0.254	
	N	6	6	6	6	6

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

Fuente: elaboración propia a partir de los datos del MARN

Tabla 51. Correlación bivariada 2013, zona norte

Correlación bivariada 2014						
		Latitud	Metros sobre el nivel del mar	Precipitación acumulada 2014	Temperatura media 2014	Humedad relativa media 2014
<b>Latitud</b>	Correlación de Pearson	1	0.783	0.381	-0.763	0.401
	Sig. (bilateral)		0.065	0.456	0.078	0.431
	N	6	6	6	6	6
<b>Metros sobre el nivel del mar</b>	Correlación de Pearson	0.783	1	0.231	-.985**	0.581
	Sig. (bilateral)	0.065		0.659	0.000	0.227
	N	6	6	6	6	6
<b>Precipitación acumulada 2014</b>	Correlación de Pearson	0.381	0.231	1	-0.224	0.513
	Sig. (bilateral)	0.456	0.659		0.669	0.298
	N	6	6	6	6	6
<b>Temperatura media 2014</b>	Correlación de Pearson	-0.763	-.985**	-0.224	1	-0.475
	Sig. (bilateral)	0.078	0.000	0.669		0.342
	N	6	6	6	6	6
<b>Humedad relativa media 2014</b>	Correlación de Pearson	0.401	0.581	0.513	-0.475	1
	Sig. (bilateral)	0.431	0.227	0.298	0.342	
	N	6	6	6	6	6

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

Fuente: elaboración propia a partir de los datos del MARN

Tabla 52. Correlación bivariada 2014, zona norte

<b>Correlación bivariada 2015</b>						
		Latitud	Metros sobre el nivel del mar	Precipitación acumulada 2015	Temperatura media 2015	Humedad relativa media 2015
<b>Latitud</b>	Correlación de Pearson	1	0.783	0.496	-0.755	0.498
	Sig. (bilateral)		0.065	0.317	0.083	0.315
	N	6	6	6	6	6
<b>Metros sobre el nivel del mar</b>	Correlación de Pearson	0.783	1	0.318	-0.976**	0.687
	Sig. (bilateral)	0.065		0.539	0.001	0.131
	N	6	6	6	6	6
<b>Precipitación acumulada 2015</b>	Correlación de Pearson	0.496	0.318	1	-0.376	0.274
	Sig. (bilateral)	0.317	0.539		0.462	0.600
	N	6	6	6	6	6
<b>Temperatura media 2015</b>	Correlación de Pearson	-0.755	-0.976**	-0.376	1	-0.553
	Sig. (bilateral)	0.083	0.001	0.462		0.255
	N	6	6	6	6	6
<b>Humedad relativa media 2015</b>	Correlación de Pearson	0.498	0.687	0.274	-0.553	1
	Sig. (bilateral)	0.315	0.131	0.600	0.255	
	N	6	6	6	6	6

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

Fuente: elaboración propia a partir de los datos del MARN

*Tabla 53. Correlación bivariada 2015, zona norte*

<b>Correlación bivariada 2016</b>						
		Latitud	Metros sobre el nivel del mar	Precipitación acumulada 2016	Temperatura media 2016	Humedad relativa media 2016
<b>Latitud</b>	Correlación de Pearson	1	0.783	-0.497	-0.761	0.411
	Sig. (bilateral)		0.065	0.316	0.079	0.418
	N	6	6	6	6	6
<b>Metros sobre el nivel del mar</b>	Correlación de Pearson	0.783	1	-0.676	-0.984**	0.491
	Sig. (bilateral)	0.065		0.141	0.000	0.322
	N	6	6	6	6	6
<b>Precipitación acumulada 2016</b>	Correlación de Pearson	-0.497	-0.676	1	0.662	-0.271
	Sig. (bilateral)	0.316	0.141		0.152	0.603
	N	6	6	6	6	6
<b>Temperatura media 2016</b>	Correlación de Pearson	-0.761	-0.984**	0.662	1	-0.376
	Sig. (bilateral)	0.079	0.000	0.152		0.462
	N	6	6	6	6	6
<b>Humedad relativa media 2016</b>	Correlación de Pearson	0.411	0.491	-0.271	-0.376	1
	Sig. (bilateral)	0.418	0.322	0.603	0.462	
	N	6	6	6	6	6

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

Fuente: elaboración propia a partir de los datos del MARN

*Tabla 54. Correlación bivariada 2016, zona norte*

Correlación bivariada 2017						
		Latitud	Metros sobre el nivel del mar	Precipitación acumulada 2017	Temperatura media 2017	Humedad relativa media 2017
<b>Latitud</b>	Correlación de Pearson	1	0.783	0.500	-0.781	0.464
	Sig. (bilateral)		0.065	0.313	0.066	0.354
	N	6	6	6	6	6
<b>Metros sobre el nivel del mar</b>	Correlación de Pearson	0.783	1	0.562	-0.993**	0.523
	Sig. (bilateral)	0.065		0.246	0.000	0.287
	N	6	6	6	6	6
<b>Precipitación acumulada 2017</b>	Correlación de Pearson	0.500	0.562	1	-0.614	0.503
	Sig. (bilateral)	0.313	0.246		0.195	0.309
	N	6	6	6	6	6
<b>Temperatura media 2017</b>	Correlación de Pearson	-0.781	-0.993**	-0.614	1	-0.476
	Sig. (bilateral)	0.066	0.000	0.195		0.340
	N	6	6	6	6	6
<b>Humedad relativa media 2017</b>	Correlación de Pearson	0.464	0.523	0.503	-0.476	1
	Sig. (bilateral)	0.354	0.287	0.309	0.340	
	N	6	6	6	6	6

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

Fuente: elaboración propia a partir de los datos del MARN

Tabla 55. Correlación bivariada 2017, zona norte

Luego de elaborar las tablas de correlación bivariada para el periodo de estudio, se pudo evidenciar únicamente una correlación significativa en el nivel 0.01 para cada uno de los años entre 2013 y 2017. Dicha correlación fue identificada entre las variables metros sobre el nivel del mar (msnm) y temperatura media, obteniendo coeficientes con una correlación inversa entre 0.976 y 0.994.

Es importante mencionar que de las 23 estaciones del MARN a nivel nacional, únicamente seis corresponden a la zona norte; lo cual implicó tener una menor cantidad de datos, por lo que no se contó con registros suficientes para obtener una mayor cantidad de correlaciones entre variables.

Después de obtener una sola correlación significativa en cada año, se optó por no realizar el procedimiento de regresión lineal para la zona norte, pues la variable dependiente sería precipitación acumulada, con la cual ninguna de las otras variables presentó correlación.

### 3.3.4 Análisis de variación de parámetros ambientales, áreas y precios del maíz y 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		23.06		82.29		1,762.90		\$14.34		\$0.20	
2014	40,279.23	33.04%	23.54	2.08%	81.45	-1.01%	1,881.72	6.74%	\$16.58	15.62%	\$0.22	10.00%
2015	65,552.95	62.75%	23.79	1.06%	78.49	-3.63%	1,536.35	-18.35%	\$20.03	20.81%	\$0.24	9.09%
2016	38,021.44	-42.00%	23.50	-1.24%	80.21	2.18%	1,437.78	-6.42%	\$18.20	-9.14%	\$0.22	-8.33%
2017	39,060.39	2.73%	23.50	0.00%	83.63	4.27%	1,851.48	28.77%	\$12.20	-32.97%	\$0.19	-13.64%

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

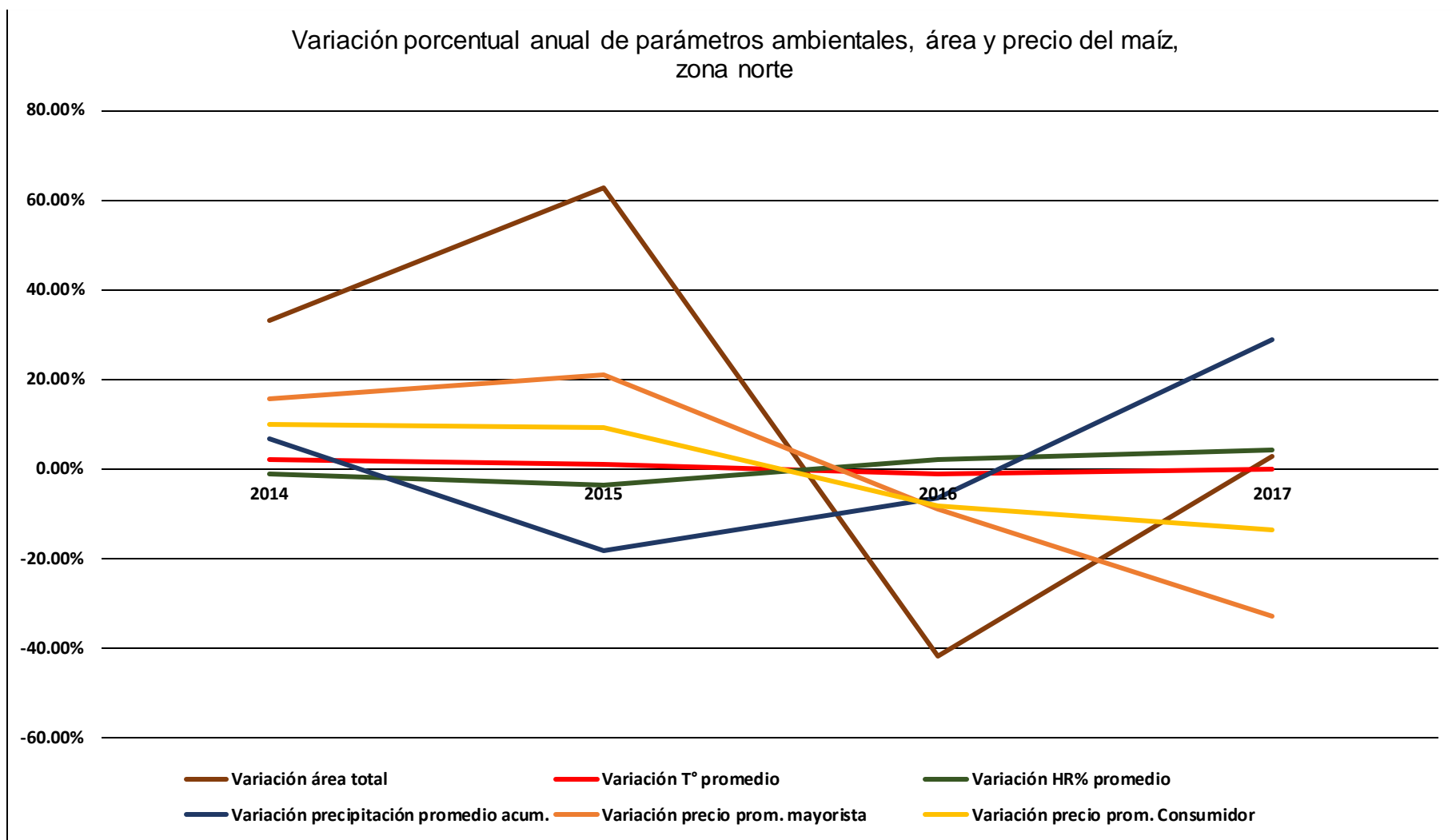
Tabla 56. Variación de parámetros ambientales, área y precio del maíz, zona norte

#### 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		23.06		82.29		1,762.90		\$38.05		\$0.47	
2014	921.61	373.20%	23.54	2.08%	81.45	-1.01%	1,881.72	6.74%	\$40.44	6.28%	\$0.50	6.38%
2015	455.52	-50.57%	23.79	1.06%	78.49	-3.63%	1,536.35	-18.35%	\$38.26	-5.39%	\$0.47	-6.00%
2016	1,073.64	135.69%	23.50	-1.24%	80.21	2.18%	1,437.78	-6.42%	\$36.80	-3.82%	\$0.45	-4.26%
2017	1,711.23	59.39%	23.50	0.00%	83.63	4.27%	1,851.48	28.77%	\$35.40	-3.80%	\$0.45	0.00%

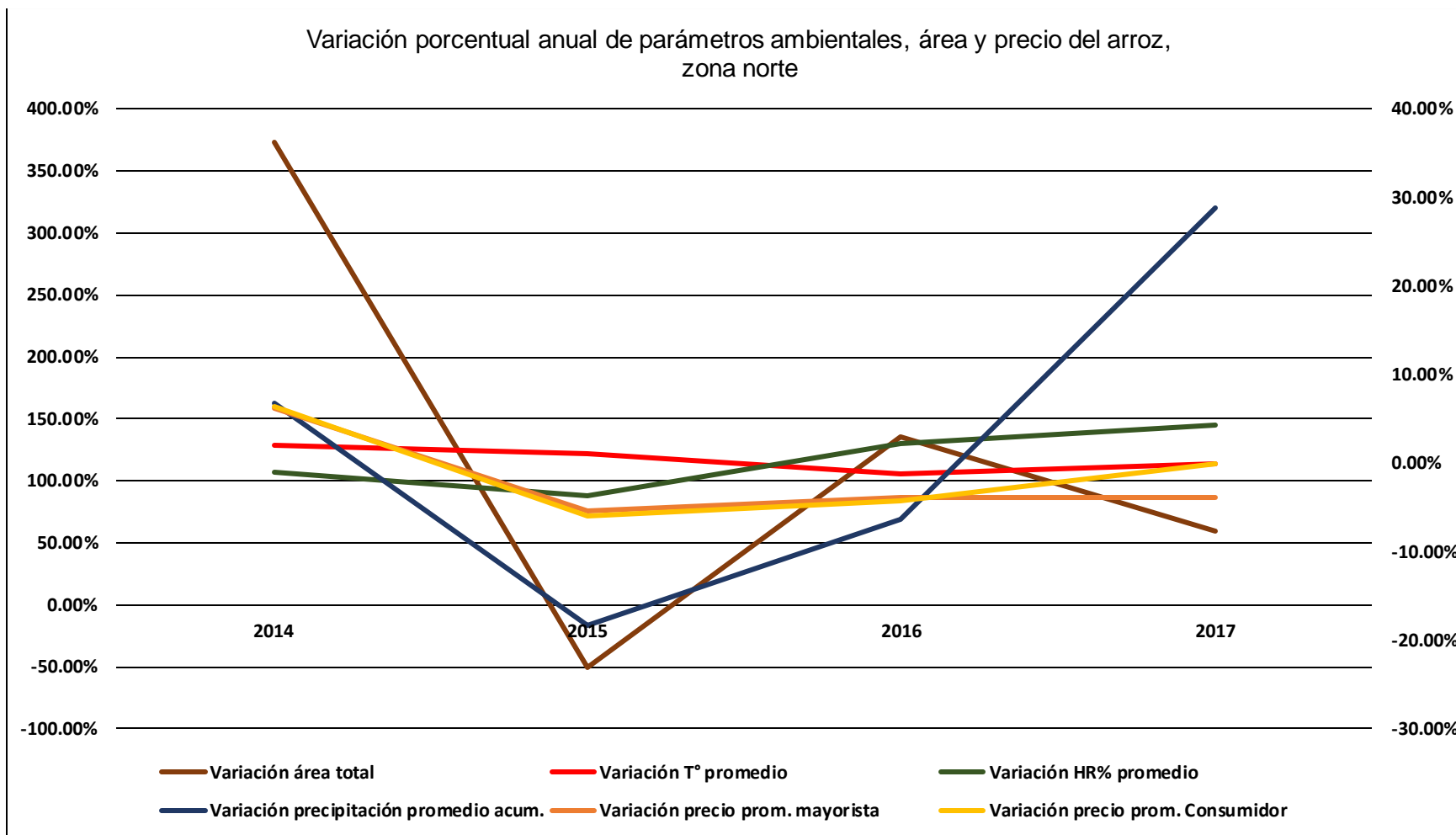
Fuente: elaboración propia a partir de los datos del MARN y de los anuarios de estadísticas de la DGEA

Tabla 57. Variación de parámetros ambientales, área y precio del arroz, zona norte



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

Gráfico 11. Variación porcentual anual 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 12. Variación porcentual anual de parámetros ambientales, área y precio del arroz, zona norte<sup>13</sup>

<sup>13</sup> 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).



## Maíz

En el año 2016 respecto a 2015, se evidencia una variación drástica (- 42.00%) en el área estimada de este cultivo. No se encuentra una relación clara entre la variación de los parámetros ambientales y la disminución en superficie cultivada, ya que la temperatura refleja una disminución de 1.24%, la humedad relativa mostró un aumento de 2.18%; sin embargo, según el mapa elaborado mediante kriging, la precipitación disminuyó un 6.42%. Tampoco se encuentra una relación clara entre todo lo anterior y la disminución de los precios mayorista y de consumidor.

Para el año 2017 y respecto a 2016, hubo un aumento del 2.73% en el área cultivada. En este año se determinó que la temperatura promedio no sufrió ninguna variación, pero hubo un aumento de 4.27% en la humedad relativa y un incremento de la precipitación acumulada de 28.77%. El aumento en este último parámetro pudo haber favorecido el incremento del área del cultivo de maíz. En este caso, si se observa relación de las variaciones anuales mencionadas con los precios a nivel mayorista y de consumidor final.

## Arroz

En el caso del arroz, se identificaron variaciones significativas en los años 2015 y 2017. En el año 2015 respecto a 2014, el área cultivada estimada de arroz tuvo una variación negativa de 50.57%, un aumento de 1.06% en la temperatura media llegando a 23.79°C, una disminución en la humedad relativa de 3.63% y un decremento de 18.35% en la precipitación acumulada. Sin embargo, los precios de mayorista y de consumidor final no reflejan el aumento que se hubiera esperado, dada la disminución del área cultivada.

Para el año 2017 en comparación con 2016, se determinó que este cultivo tuvo un aumento en el área total de 59.39%. Teniendo en cuenta la variación en los parámetros ambientales en 2017, se puede mencionar que hay concordancia entre el aumento de área, sobre todo con la variación positiva de la precipitación. El precio a nivel mayorista se corresponde con las variaciones reportadas en los parámetros ambientales y al mismo tiempo con el aumento del área total del cultivo; mientras que el precio de consumidor no sufrió variación respecto a 2016.

### 3.3.5 Estimación económica de la producción de maíz y arroz, zona norte

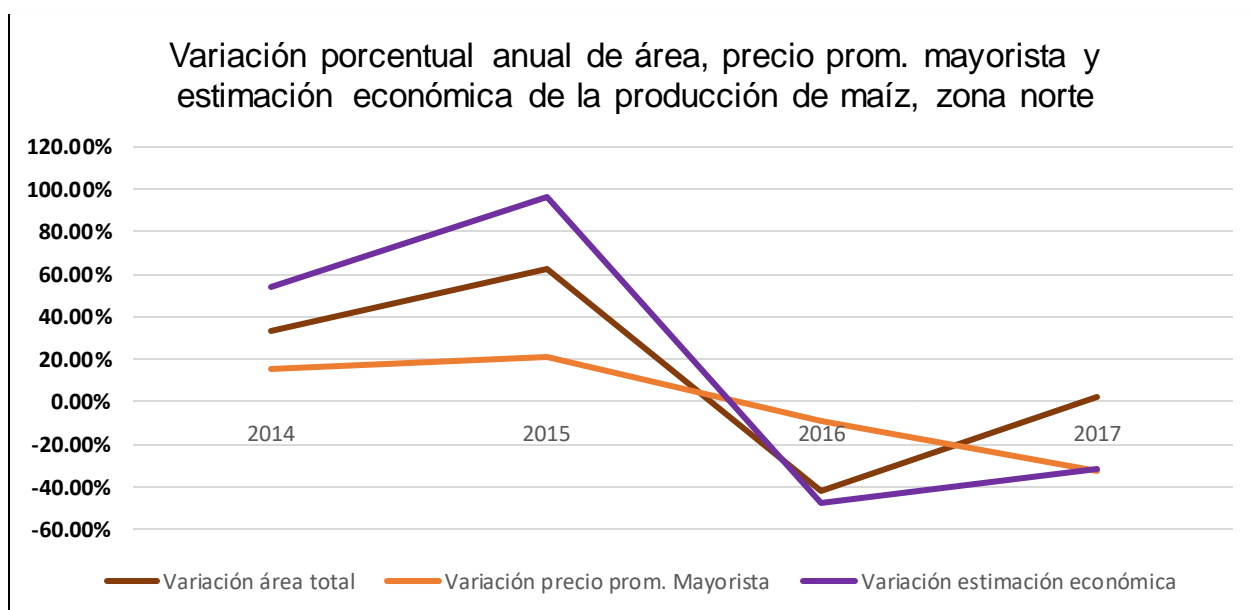
#### Maíz

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

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

Tabla 58. Estimación económica de la producción de maíz, zona norte

Según la variación negativa reportada (-6.42%) en precipitación acumulada del año 2016 se puede mencionar que lo anterior pudo haber afectado para que el área total de este cultivo reflejara una disminución del 42.00%; lo cual tuvo un efecto adverso tanto en la producción de maíz; y por consiguiente, en la estimación económica de dicha producción, ya que dicha estimación se redujo en 47.30%, en comparación con 2015. Para el año 2017, la producción aumentó 2.73%; sin embargo, la estimación económica tuvo un decremento de 31.14%, pero esto fue debido a la disminución en el precio a nivel mayorista, lo cual no puede atribuirse únicamente al aumento de la producción de ese año.



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

Gráfico 13. Variación porcentual anual de área, precio prom. mayorista y estimación económica de la producción de maíz, zona norte

## Arroz

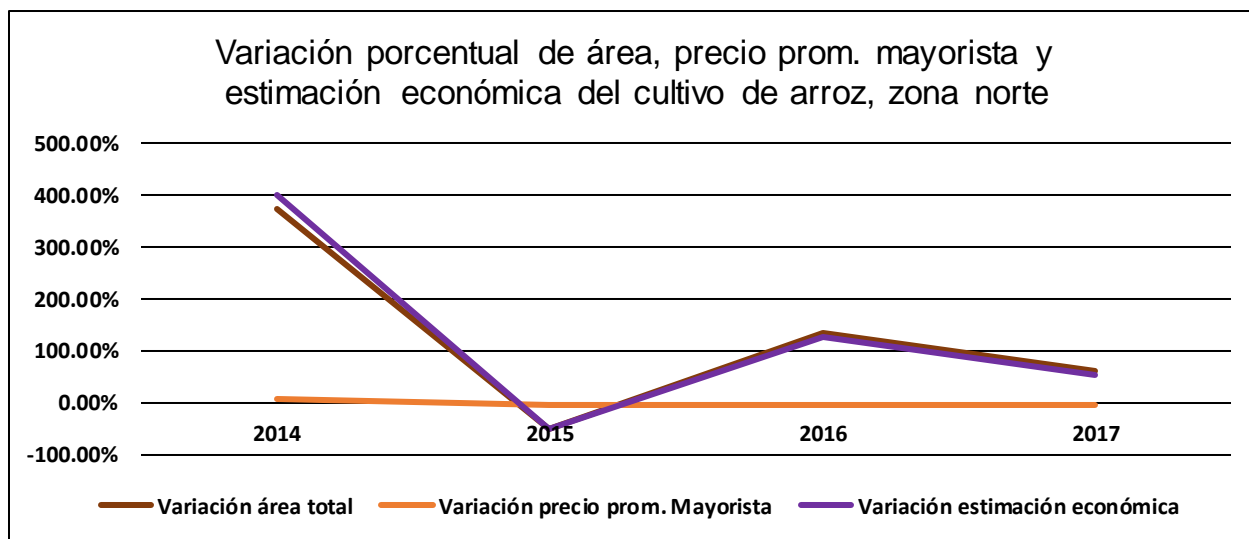
Año	Area total (ha)	Rendimiento	Unidad área	Producción estimada (qq)	Precio prom. Mayorista (USD/qq)	Estimación económica a precio prom. mayorista
2013	194.76	256	qq/ha	49,859.24	\$38.05	\$1,897,144.25
2014	921.61			235,932.54	\$40.44	\$9,541,112.03
2015	455.52			116,613.64	\$38.26	\$4,461,638.00
2016	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

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

Tabla 59. Estimación económica de la producción de arroz, zona norte

Para el año 2015 en comparación con 2014, el decremento 18.35% en la precipitación, un aumento de 1.06% en la temperatura y la reducción de humedad relativa de 3.63%, es posible que en conjunto hayan afectado el área total de este cultivo. Por otra parte, no se encuentra relación del comportamiento de los parámetros ambientales con los precios de mayorista y de consumidor, pues ambos presentaron una disminución. Según la información obtenida, la estimación económica se vio afectada en 2015, pues presentó una disminución de 53.24%.

En el año 2017, en comparación con 2016, la precipitación tuvo un incremento de 28.77%, el valor promedio de temperatura no tuvo ninguna variación, y la humedad relativa obtuvo un aumento de 4.27%; al mismo tiempo el precio a nivel mayorista presentó una disminución de 3.80%, y con un área de 1,711.23 hectáreas; la estimación económica experimentó un aumento de 53.32%.



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

Gráfico 14. Variación porcentual de área, precio prom. mayorista y estimación económica de la producción de arroz, zona norte

### 3.4 Zona Central

#### 3.4.1 Mapas de temperatura

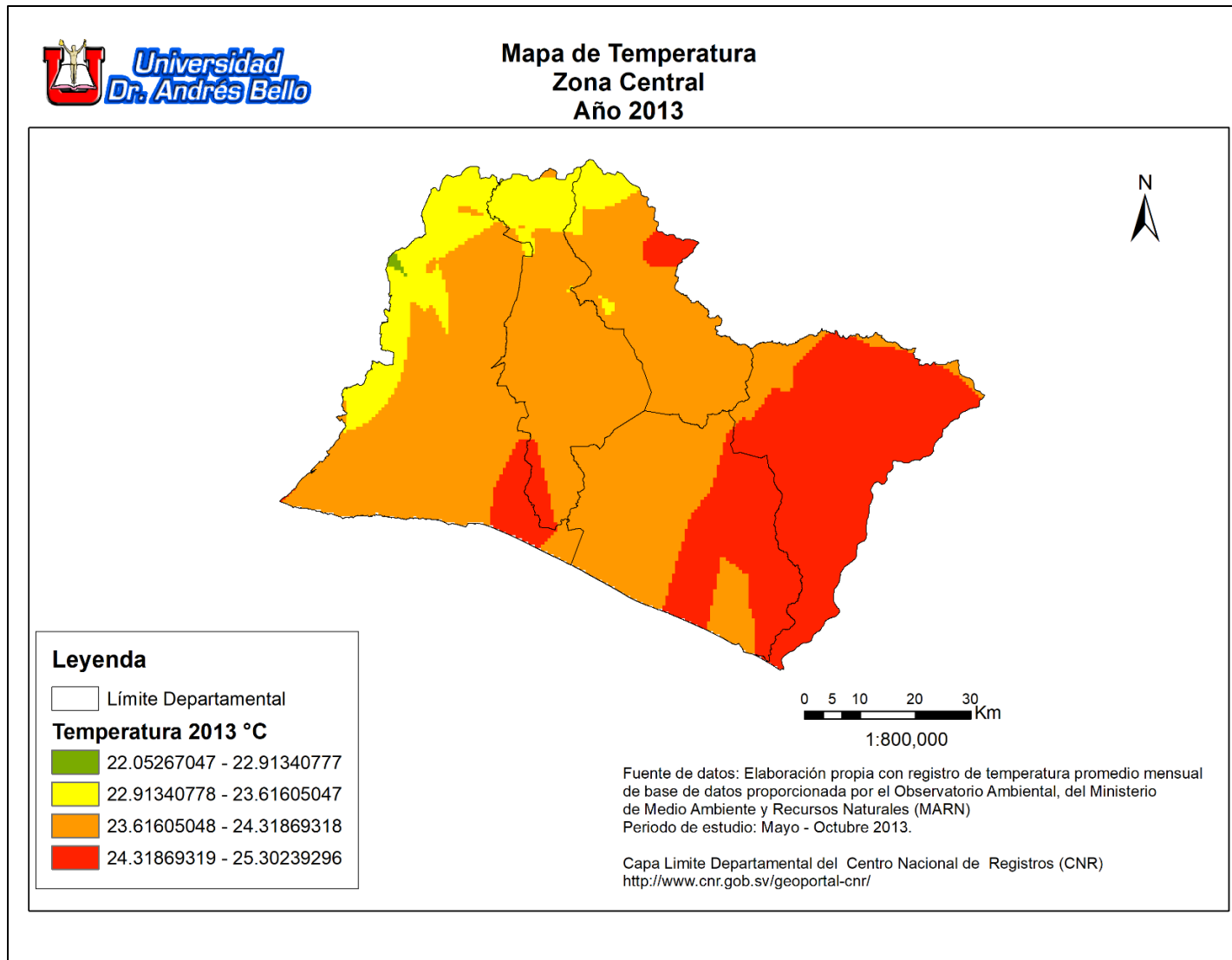


Figura 80. Mapa de temperatura, zona central, 2013

Mapa de Temperatura  
Zona Central  
Año 2014

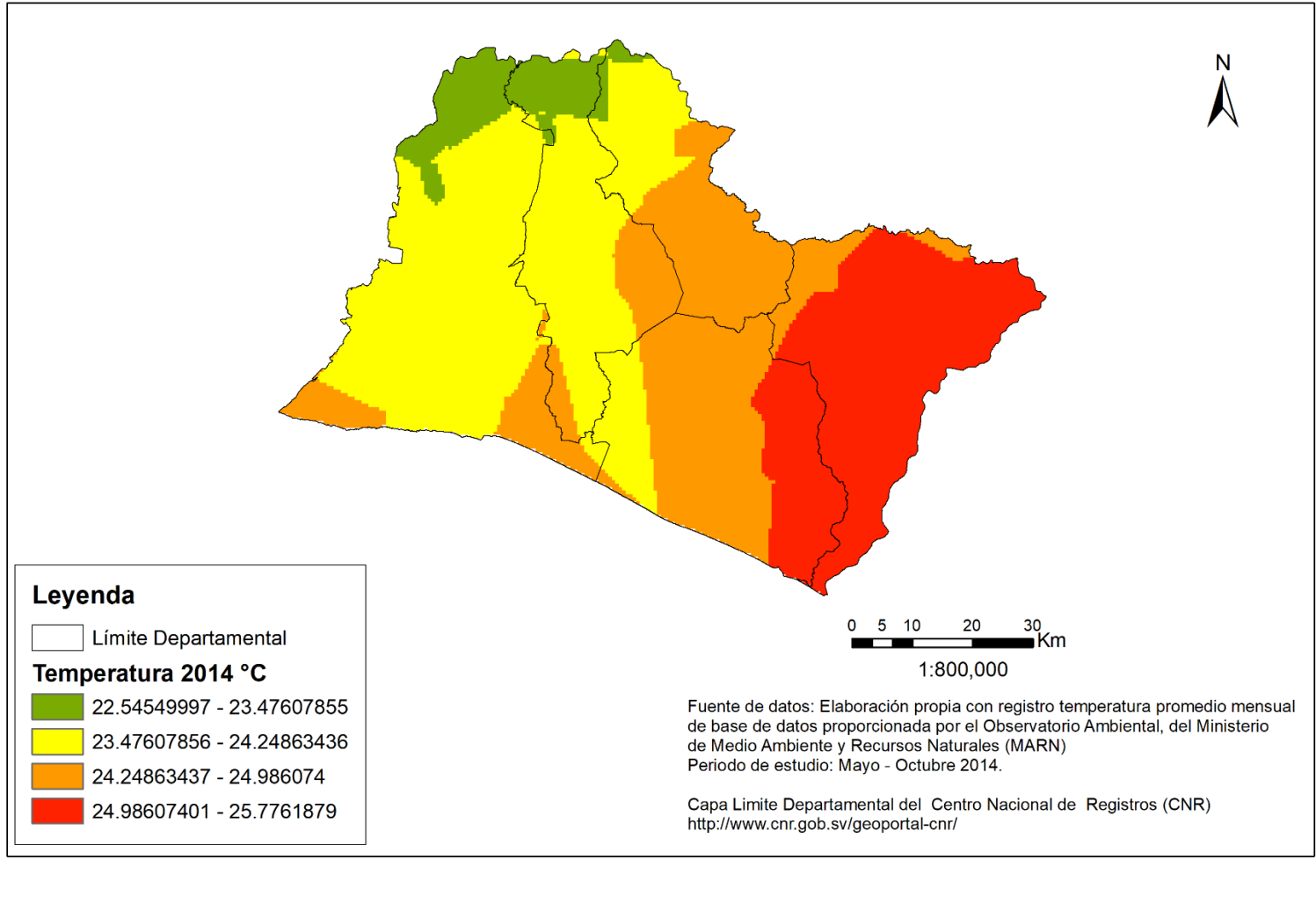


Figura 81. Mapa de temperatura, zona central, 2014

Mapa de Temperatura  
Zona Central  
Año 2015

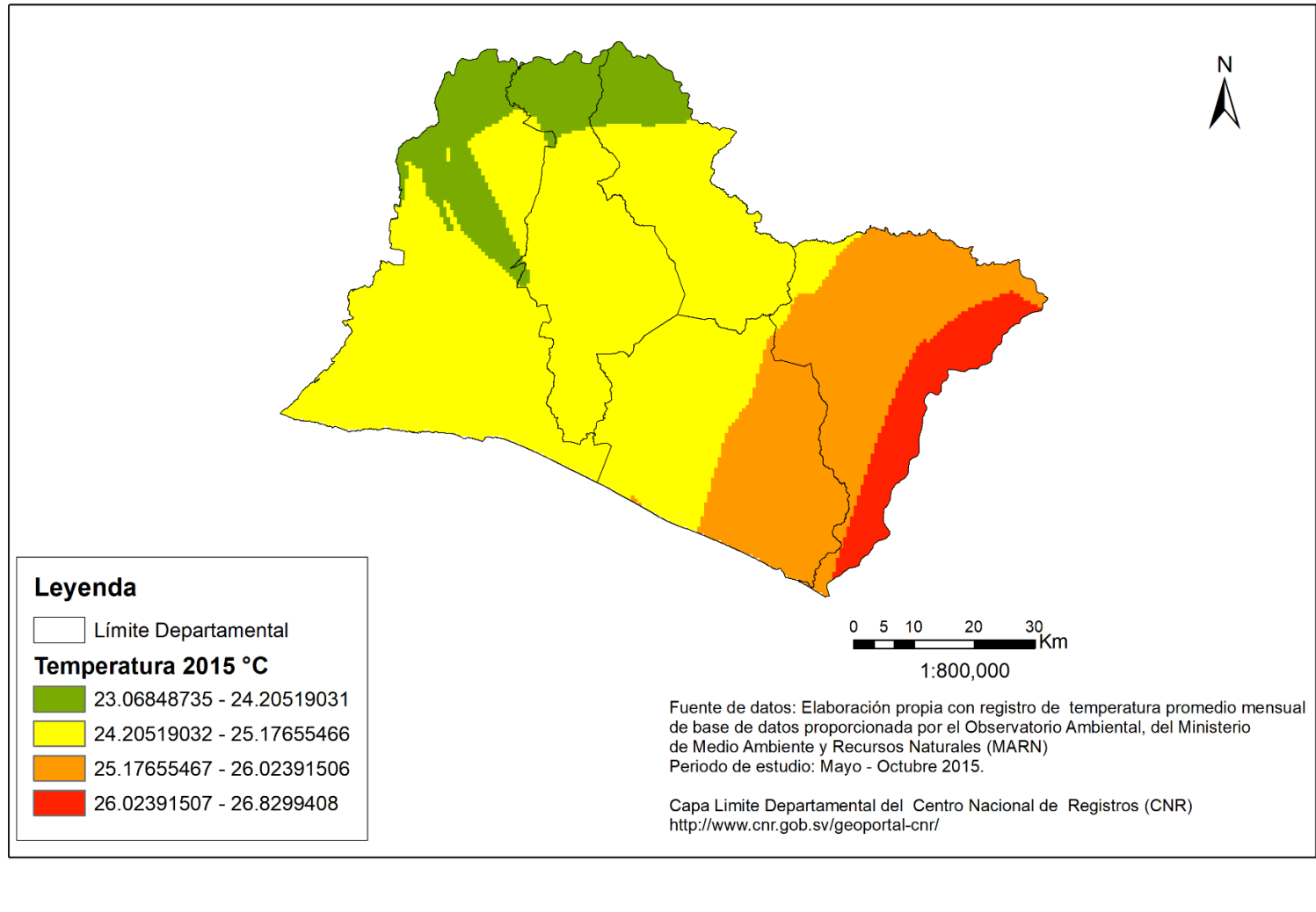


Figura 82. Mapa de temperatura, zona central, 2015

Mapa de Temperatura  
Zona Central  
Año 2016

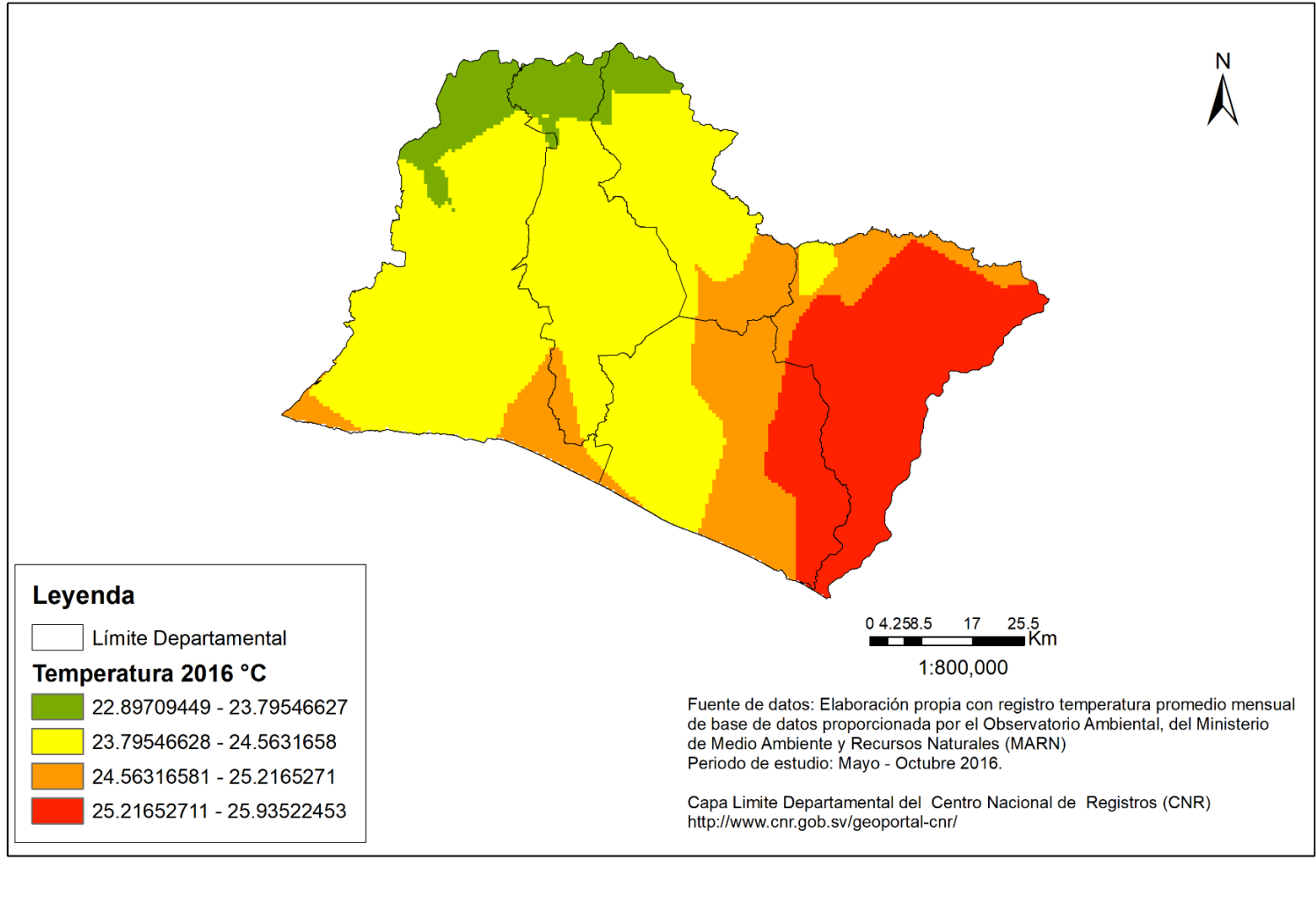


Figura 83. Mapa de temperatura, zona central, 2016

Mapa de Temperatura  
Zona Central  
Año 2017

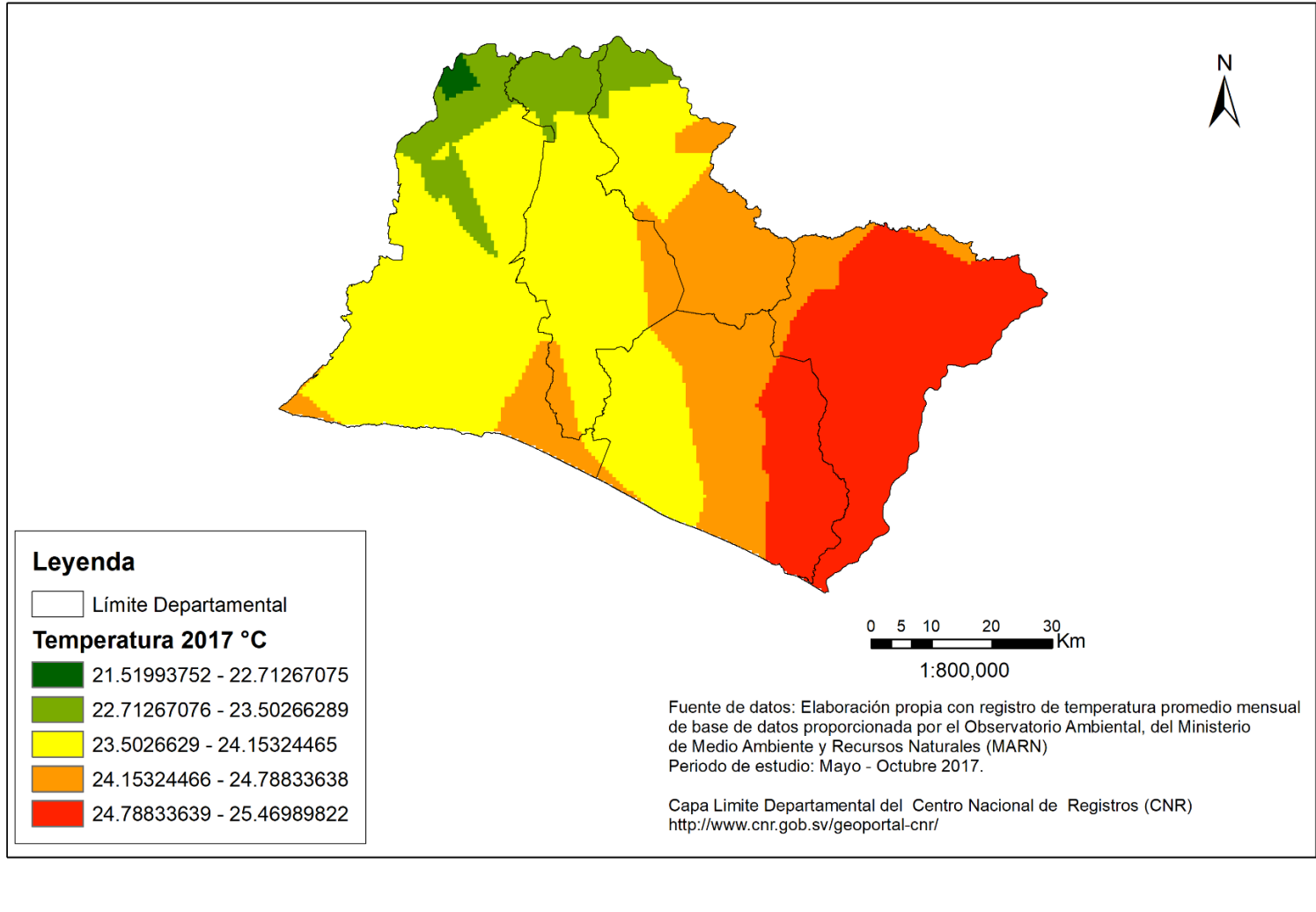


Figura 84. Mapa de temperatura, zona central, 2017



### 3.4.2 Mapas de humedad relativa

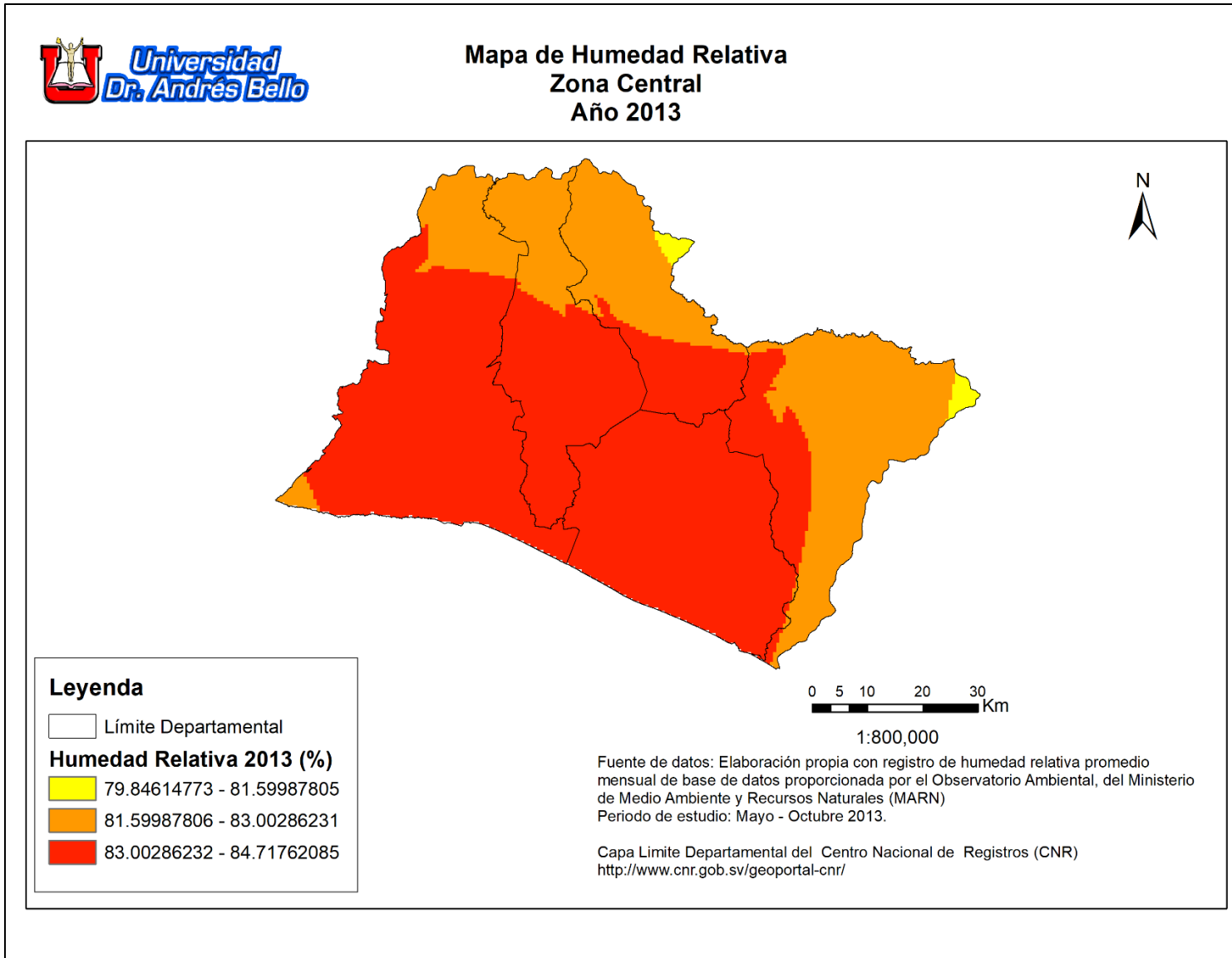


Figura 85. Mapa de humedad relativa, zona central, 2013

Mapa de Humedad Relativa  
Zona Central  
Año 2014

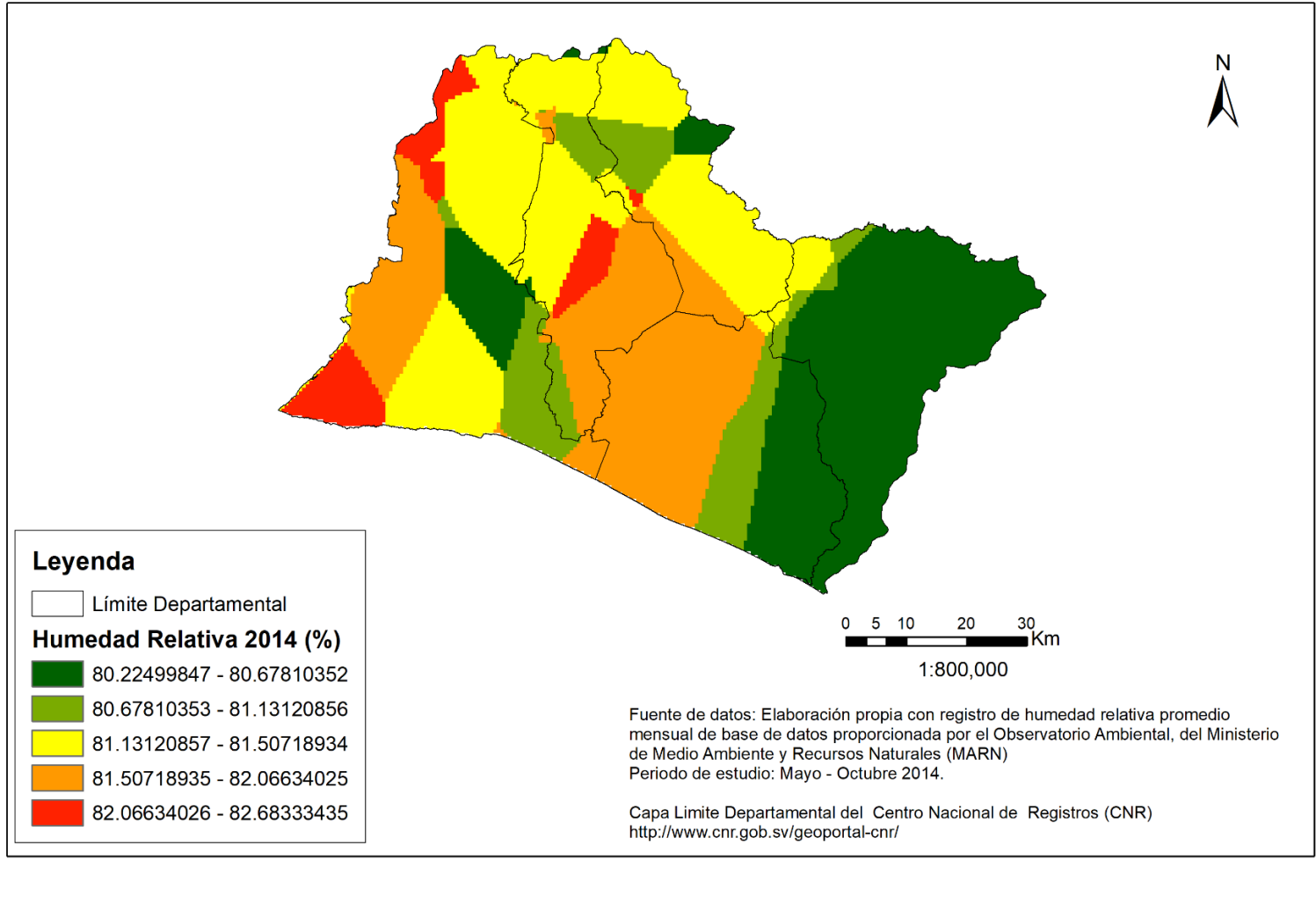


Figura 86. Mapa de humedad relativa, zona central, 2014

Mapa de Humedad Relativa  
Zona Central  
Año 2015

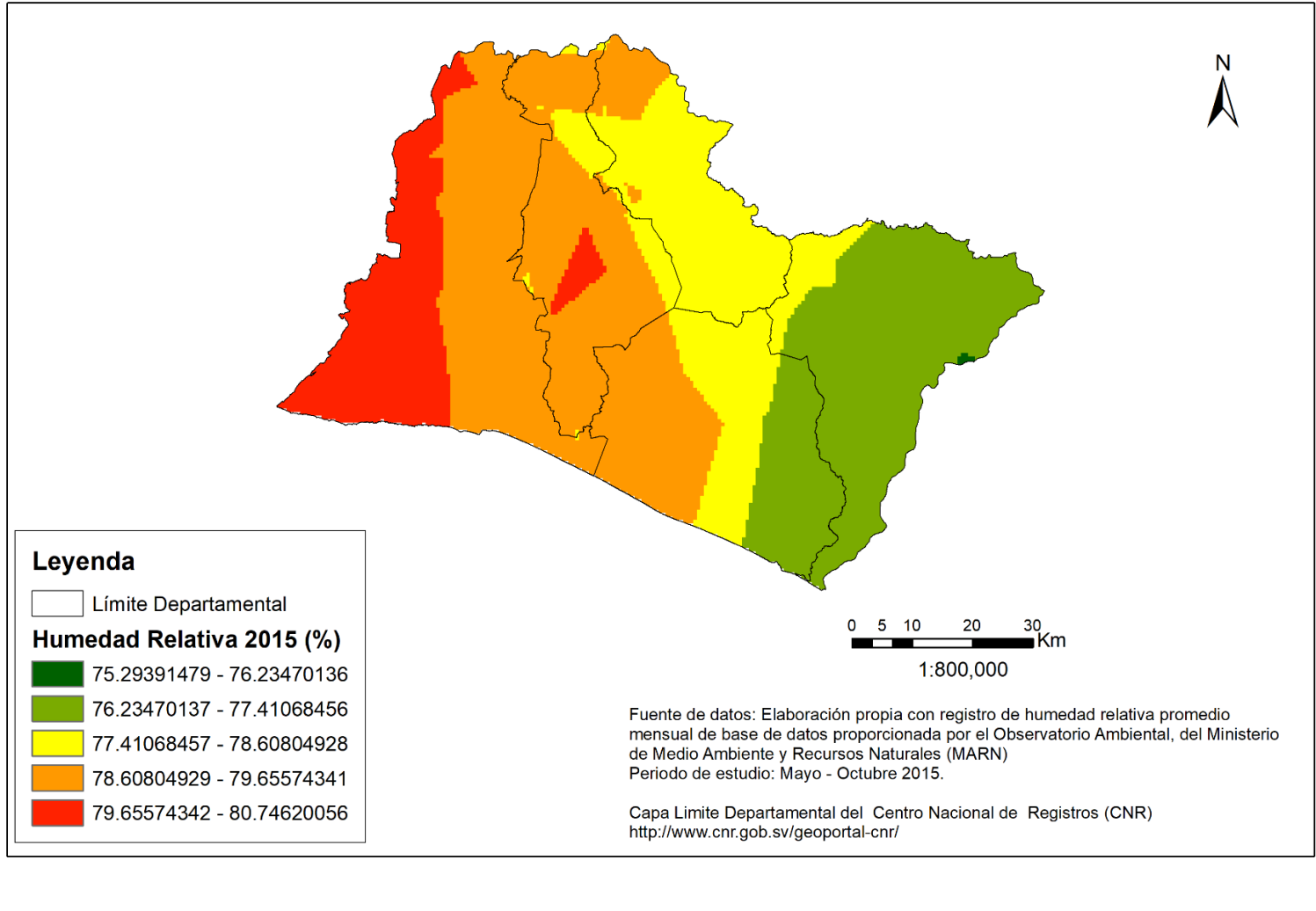


Figura 87. Mapa de humedad relativa, zona central, 2015

### Mapa de Humedad Relativa Zona Central Año 2016

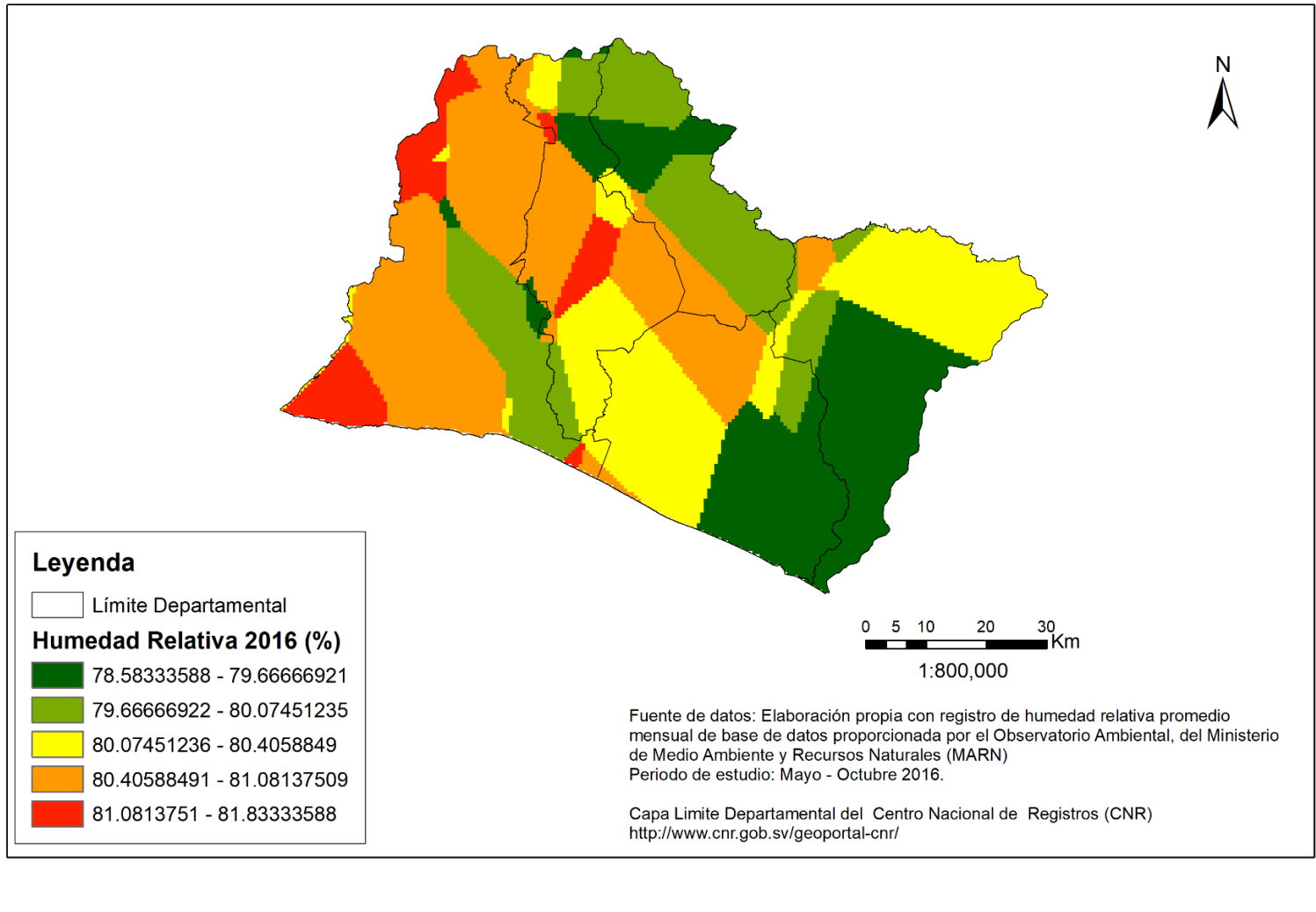


Figura 88. Mapa de humedad relativa, zona central, 2016

Mapa de Humedad Relativa  
Zona Central  
Año 2017

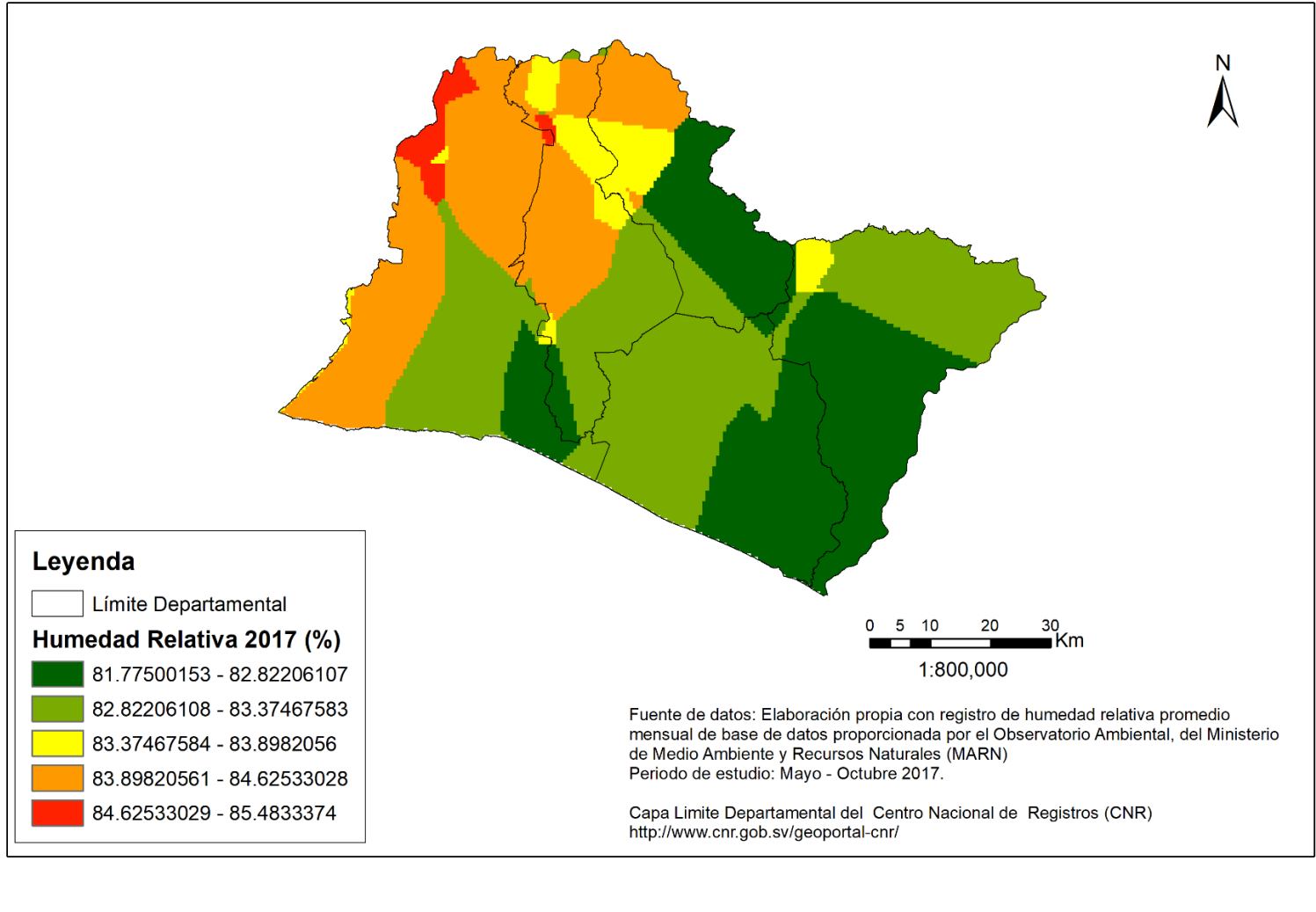


Figura 89. Mapa de humedad relativa, zona central, 2017

### 3.4.3 Análisis de correlación, zona central

Correlación bivariada 2013						
		Latitud	Metros sobre el nivel del mar	Precipitación acumulada 2013	Temperatura media 2013	Humedad relativa media 2013
Latitud	Correlación de Pearson	1	0.332	-0.690	-0.391	0.395
	Sig. (bilateral)		0.586	0.198	0.515	0.511
	N	5	5	5	5	5
Metros sobre el nivel del mar	Correlación de Pearson	0.332	1	0.004	-.993**	.967**
	Sig. (bilateral)	0.586		0.994	0.001	0.007
	N	5	5	5	5	5
Precipitación acumulada 2013	Correlación de Pearson	-0.690	0.004	1	-0.019	-0.168
	Sig. (bilateral)	0.198	0.994		0.976	0.787
	N	5	5	5	5	5
Temperatura media 2013	Correlación de Pearson	-0.391	-.993**	-0.019	1	-.957*
	Sig. (bilateral)	0.515	0.001	0.976		0.011
	N	5	5	5	5	5
Humedad relativa media 2013	Correlación de Pearson	0.395	.967**	-0.168	-.957*	1
	Sig. (bilateral)	0.511	0.007	0.787	0.011	
	N	5	5	5	5	5

\*\* . 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 del MARN

Tabla 60. Correlación bivariada 2013, zona central

Correlación bivariada 2014						
		Latitud	Metros sobre el nivel del mar	Precipitación acumulada 2014	Temperatura media 2014	Humedad relativa media 2014
Latitud	Correlación de Pearson	1	0.332	-0.014	-0.425	0.607
	Sig. (bilateral)		0.586	0.982	0.475	0.278
	N	5	5	5	5	5
Metros sobre el nivel del mar	Correlación de Pearson	0.332	1	0.497	-.992**	.931*
	Sig. (bilateral)	0.586		0.395	0.001	0.021
	N	5	5	5	5	5
Precipitación acumulada 2014	Correlación de Pearson	-0.014	0.497	1	-0.506	0.408
	Sig. (bilateral)	0.982	0.395		0.384	0.496
	N	5	5	5	5	5
Temperatura media 2014	Correlación de Pearson	-0.425	-.992**	-0.506	1	-.968**
	Sig. (bilateral)	0.475	0.001	0.384		0.007
	N	5	5	5	5	5
Humedad relativa media 2014	Correlación de Pearson	0.607	.931*	0.408	-.968**	1
	Sig. (bilateral)	0.278	0.021	0.496	0.007	
	N	5	5	5	5	5

\*\* . 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 del MARN

Tabla 61. Correlación bivariada 2014, zona central

<b>Correlación bivariada 2015</b>						
		Latitud	Metros sobre el nivel del mar	Precipitación acumulada 2015	Temperatura media 2015	Humedad relativa media 2015
<b>Latitud</b>	Correlación de Pearson	1	0.332	0.004	-0.466	0.495
	Sig. (bilateral)		0.586	0.994	0.429	0.397
	N	5	5	5	5	5
<b>Metros sobre el nivel del mar</b>	Correlación de Pearson	0.332	1	.926*	-.986**	.892*
	Sig. (bilateral)	0.586		0.024	0.002	0.042
	N	5	5	5	5	5
<b>Precipitación acumulada 2015</b>	Correlación de Pearson	0.004	.926*	1	-0.857	0.701
	Sig. (bilateral)	0.994	0.024		0.063	0.188
	N	5	5	5	5	5
<b>Temperatura media 2015</b>	Correlación de Pearson	-0.466	-.986**	-0.857	1	-.941*
	Sig. (bilateral)	0.429	0.002	0.063		0.017
	N	5	5	5	5	5
<b>Humedad relativa media 2015</b>	Correlación de Pearson	0.495	.892*	0.701	-.941*	1
	Sig. (bilateral)	0.397	0.042	0.188	0.017	
	N	5	5	5	5	5
* . 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 del MARN

Tabla 62. Correlación bivariada 2015, zona central

<b>Correlación bivariada 2016</b>						
		Latitud	Metros sobre el nivel del mar	Precipitación acumulada 2016	Temperatura media 2016	Humedad relativa media 2016
<b>Latitud</b>	Correlación de Pearson	1	0.332	-0.230	-0.416	0.357
	Sig. (bilateral)		0.586	0.710	0.486	0.555
	N	5	5	5	5	5
<b>Metros sobre el nivel del mar</b>	Correlación de Pearson	0.332	1	-0.771	-.988**	.955*
	Sig. (bilateral)	0.586		0.127	0.002	0.011
	N	5	5	5	5	5
<b>Precipitación acumulada 2016</b>	Correlación de Pearson	-0.230	-0.771	1	0.827	-0.867
	Sig. (bilateral)	0.710	0.127		0.084	0.057
	N	5	5	5	5	5
<b>Temperatura media 2016</b>	Correlación de Pearson	-0.416	-.988**	0.827	1	-.981**
	Sig. (bilateral)	0.486	0.002	0.084		0.003
	N	5	5	5	5	5
<b>Humedad relativa media 2016</b>	Correlación de Pearson	0.357	.955*	-0.867	-.981**	1
	Sig. (bilateral)	0.555	0.011	0.057	0.003	
	N	5	5	5	5	5
** . 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 del MARN

Tabla 63. Correlación bivariada 2016, zona central

Correlación bivariada 2017						
		Latitud	Metros sobre el nivel del mar	Precipitación acumulada 2017	Temperatura media 2017	Humedad relativa media 2017
Latitud	Correlación de Pearson	1	0.332	-0.734	-0.445	0.542
	Sig. (bilateral)		0.586	0.158	0.452	0.345
	N	5	5	5	5	5
Metros sobre el nivel del mar	Correlación de Pearson	0.332	1	0.132	-.989**	.970**
	Sig. (bilateral)	0.586		0.832	0.001	0.006
	N	5	5	5	5	5
Precipitación acumulada 2017	Correlación de Pearson	-0.734	0.132	1	-0.051	-0.024
	Sig. (bilateral)	0.158	0.832		0.936	0.969
	N	5	5	5	5	5
Temperatura media 2017	Correlación de Pearson	-0.445	-.989**	-0.051	1	-.991**
	Sig. (bilateral)	0.452	0.001	0.936		0.001
	N	5	5	5	5	5
Humedad relativa media 2017	Correlación de Pearson	0.542	.970**	-0.024	-.991**	1
	Sig. (bilateral)	0.345	0.006	0.969	0.001	
	N	5	5	5	5	5

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

Fuente: elaboración propia a partir de los datos del MARN

Tabla 64. Correlación bivariada 2017, zona central

Después de obtener las tablas de correlación bivariada anual de la zona central, se obtuvieron 3 correlaciones bivariadas para los años 2013 a 2017, que se detallan a continuación: metros sobre el nivel del mar (msnm) y temperatura media, con relación inversa y coeficientes entre 0.986 y 0.993, msnm y humedad relativa media obteniendo coeficientes entre 0.892 y 0.970 presentando una relación directa, temperatura media y humedad relativa media con relación inversa y coeficientes entre 0.941 y 0.991. Adicionalmente en el año 2015 se identificó una correlación bivariada adicional de msnm y precipitación con una relación directa y coeficiente de 0.926.

Del total de las 23 estaciones del MARN a nivel nacional, únicamente cinco estaciones se encuentran ubicadas en la zona central, lo que conlleva a tener menor cantidad de datos de las variables de la base de datos que fue proporcionada por el Observatorio Ambiental.

Si bien es cierto se obtuvo algunas correlaciones entre variables, solo se identificó una correlación bivariada en el año 2015 donde aparecía la precipitación; por tanto, se optó por no realizar el procedimiento de regresión lineal.



### 3.4.4 Análisis de variación de parámetros ambientales, áreas y precios del maíz y arroz, zona central

#### 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	56,119.75		23.68		82.29		1,729.00		\$14.34		\$0.20	
2014	79,918.47	42.41%	24.17	2.07%	81.45	-1.01%	1,809.00	4.63%	\$16.58	15.62%	\$0.22	10.00%
2015	78,542.07	-1.72%	24.95	3.25%	78.02	-4.21%	1,442.00	-20.29%	\$20.03	20.81%	\$0.24	9.09%
2016	59,483.59	-24.27%	24.42	-2.12%	80.21	2.80%	1,464.00	1.53%	\$18.20	-9.14%	\$0.22	-8.33%
2017	66,508.04	11.81%	23.50	-3.79%	83.63	4.27%	1,726.00	17.90%	\$12.20	-32.97%	\$0.19	-13.64%

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

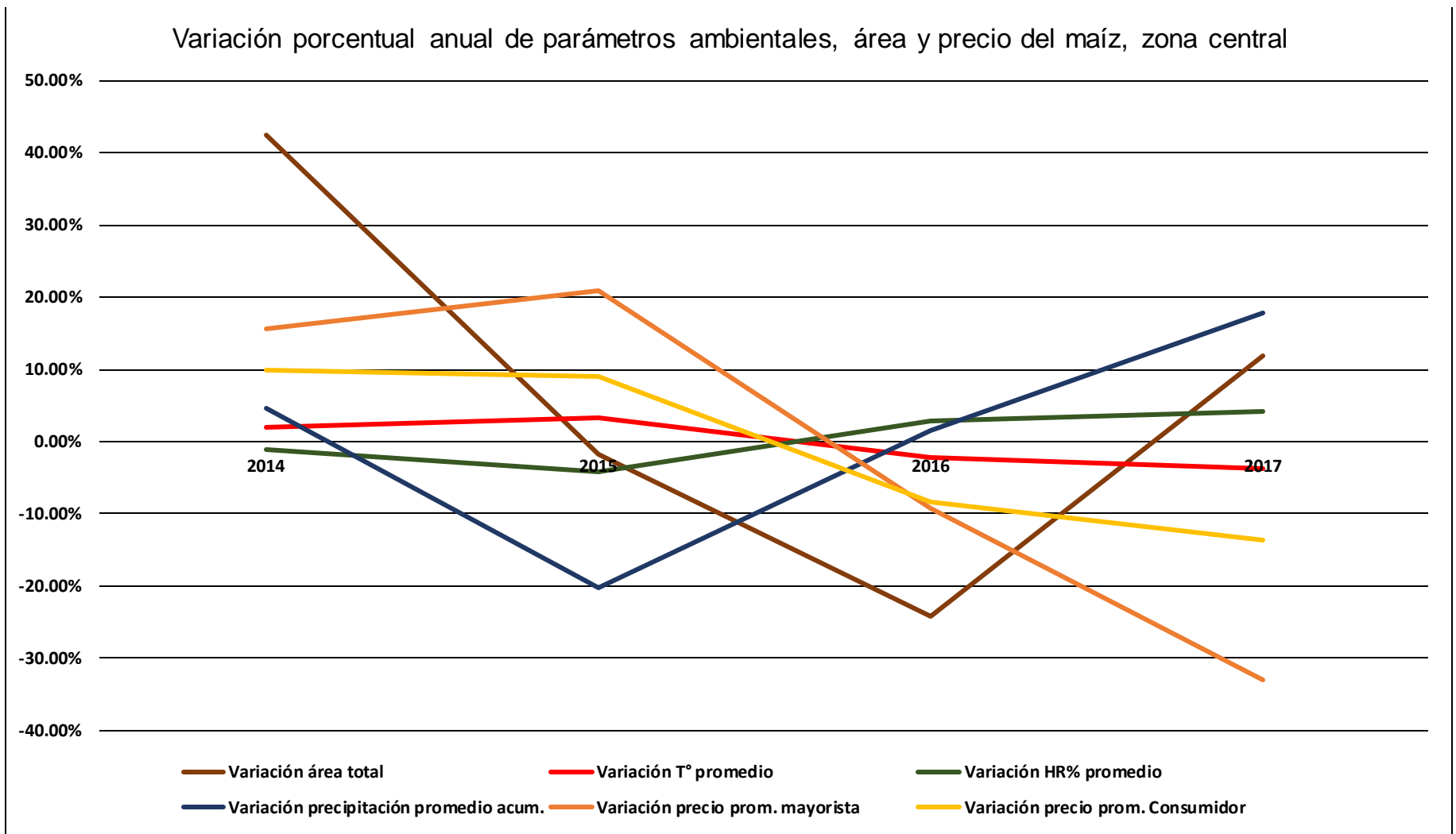
Tabla 65. Variación de parámetros ambientales, área y precio del maíz, zona central

#### 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	811.49		23.68		82.29		1,729.00		\$38.05		\$0.47	
2014	2,038.04	151.15%	24.17	2.07%	81.45	-1.01%	1,809.00	4.63%	\$40.44	6.28%	\$0.50	6.38%
2015	958.54	-52.97%	24.95	3.25%	78.02	-4.21%	1,442.00	-20.29%	\$38.26	-5.39%	\$0.47	-6.00%
2016	1,510.57	57.59%	24.42	-2.12%	80.21	2.80%	1,464.00	1.53%	\$36.80	-3.82%	\$0.45	-4.26%
2017	2,740.72	81.44%	23.50	-3.79%	83.63	4.27%	1,726.00	17.90%	\$35.40	-3.80%	\$0.45	0.00%

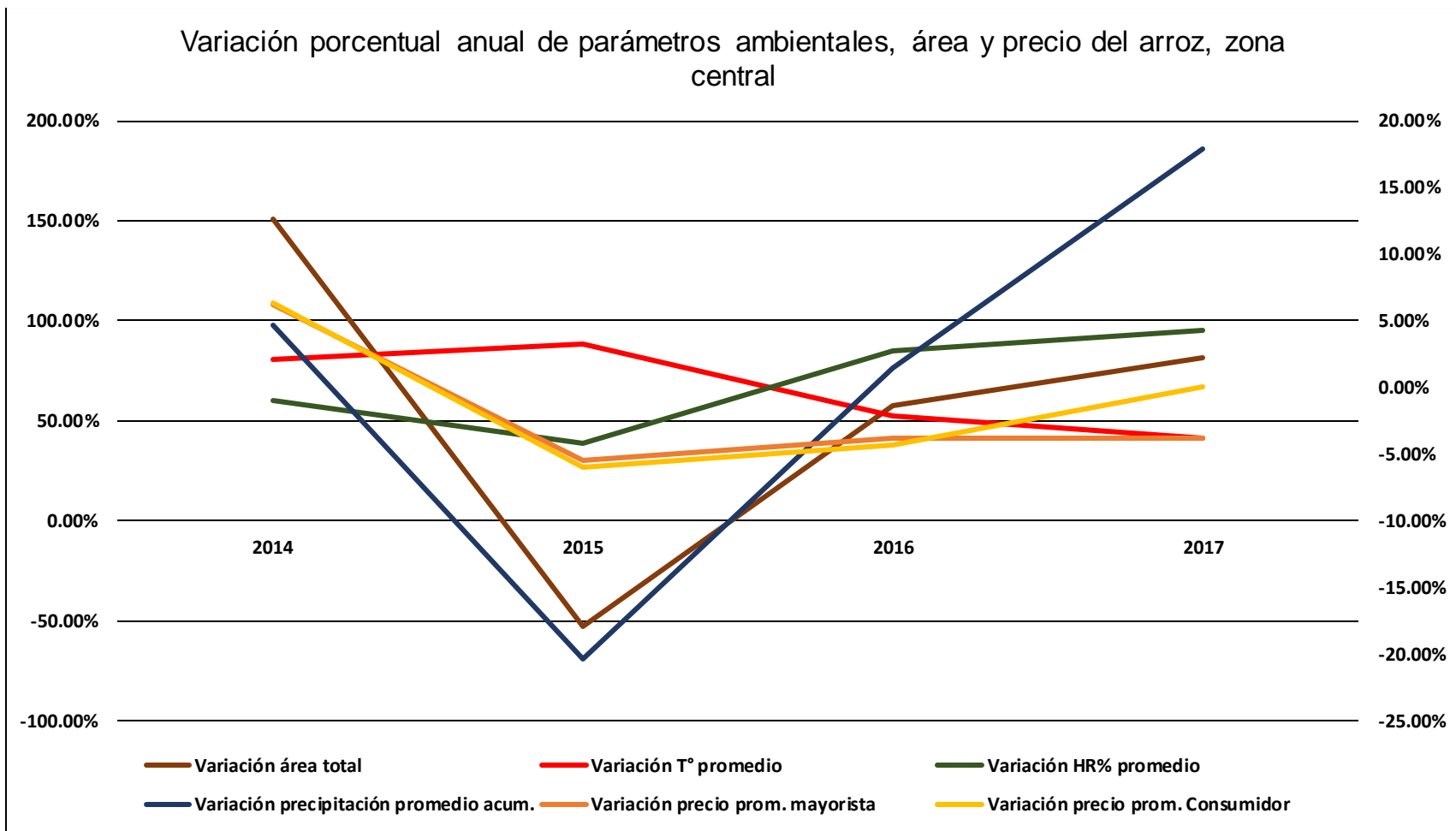
Fuente: elaboración propia a partir de los datos del MARN y de los anuarios de estadísticas de la DGEA

Tabla 66. Variación de parámetros ambientales, área y precio del arroz, zona central



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

Gráfico 15. Variación porcentual anual de parámetros ambientales, área y precio del maíz, zona central



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

Gráfico 16. Variación porcentual anual de parámetros ambientales, área y precio del arroz, zona central<sup>14</sup>

<sup>14</sup> 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).

## Maíz

El año 2016 en comparación con 2015, hubo una variación negativa de 24.27% en el área estimada de este cultivo; sin embargo, no se encuentra relación entre el decremento del área y el comportamiento de los parámetros ambientales, pues la temperatura bajó 2.12%, en relación inversa la humedad relativa aumentó 2.80%, y la precipitación incrementó 1.53%. De igual forma, los precios de mayorista y de consumidor presentaron una disminución, por lo cual es posible que otras variables no incluidas en la investigación hayan influido.

Según la estimación de área de cultivo de maíz en el año 2017 respecto a 2016, dicha área obtuvo un aumento de 11.81%, lo cual parece tener vínculo con la disminución de temperatura de 3.79%, un incremento de 4.27% en la humedad relativa promedio, y un aumento de lluvia de 17.90%. Igualmente, los precios parecen tener relación con el comportamiento de todas las variables anteriores, pues el precio de mayorista presentó una disminución de 32.97%, mientras que el precio de consumidor tuvo un decremento de 13.64%.

## Arroz

En el año 2015 respecto a 2014, se obtuvo una temperatura media de 24.95 °C, registrando un aumento de 3.25%, una humedad relativa de 78.02% (disminución de 4.21%). Según Rivas et al (2019), la precipitación obtenida fue de 1,442 mm (con un decremento de 20.29%) y una reducción de 52.97% en el área de cultivo que fue estimada. Para el año abordado, los precios de mayorista y consumidor registraron una disminución de 5.39% y 6.00%, respectivamente; lo cual parece no tener relación con la variabilidad observada en los parámetros ambientales y la disminución del área del cultivo de arroz.

En cuanto al año 2017, teniendo como referencia la variación observada en los parámetros ambientales ya descrita para el cultivo de maíz, se puede mencionar que la variación positiva en el área de arroz (aumento de 81.44%) parece tener relación con el comportamiento de la temperatura, la humedad relativa y la precipitación, al igual que con la disminución del precio a nivel mayorista (-3.80%); sin embargo, no se encuentra una relación con el precio de consumidor, ya que no registró variación.

### 3.4.5 Estimación económica de la producción de maíz y arroz, zona central

#### Maíz

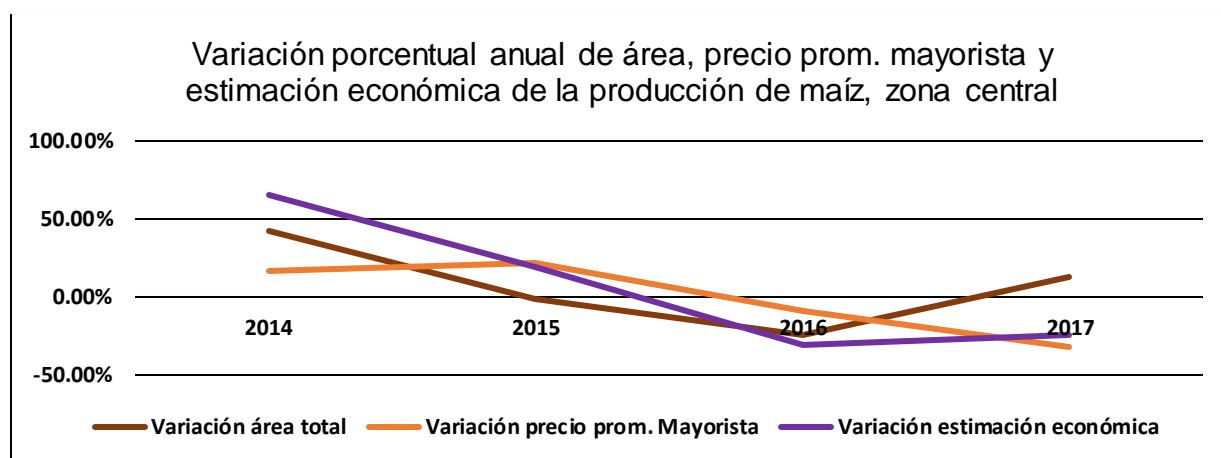
Año	Área total (ha)	Rendimiento	Unidad área	Producción estimada (qq)	Precio prom. Mayorista (USD/qq)	Estimación económica a precio prom. mayorista
2013	56,119.75	115.65	qq/ha	6,490,248.67	\$14.34	\$93,070,165.97
2014	79,918.47			9,242,571.11	\$16.58	\$153,241,829.02
2015	78,542.07			9,083,390.01	\$20.03	\$181,940,301.81
2016	59,483.59			6,879,277.01	\$18.20	\$125,202,841.58
2017	66,508.04			7,691,655.02	\$12.20	\$93,838,191.25

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

Tabla 67. Estimación económica de la producción de maíz, zona central

Según la variación de los parámetros ambientales (ver tabla 65) representada en el gráfico 15 en el año 2016, al no encontrarse una relación entre dichos parámetros y la disminución del área del cultivo de maíz; al igual que los precios tanto a nivel mayorista y de consumidor, no se puede mencionar que hubo un efecto negativo de parte de la temperatura, la humedad relativa y la precipitación en la producción ni en la estimación económica; sin embargo, se presenta la estimación para ese año.

En el año 2017 en comparación con 2016, el área estimada cultivada de maíz aumentó a 66,508.04 hectáreas, y se observa una correspondencia de este aumento con el comportamiento de los parámetros ambientales, incluido el aumento de 17.90% en la precipitación; por tanto, la producción estimada aumentó (11.81%), y el precio a nivel mayorista bajó un 32.97%. Esta disminución en el precio ocasionó que la estimación económica se redujera 25.05%, a pesar del aumento en la producción estimada.



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

Gráfico 17. Variación porcentual anual de área, precio prom. mayorista y estimación económica de la producción de maíz, zona central

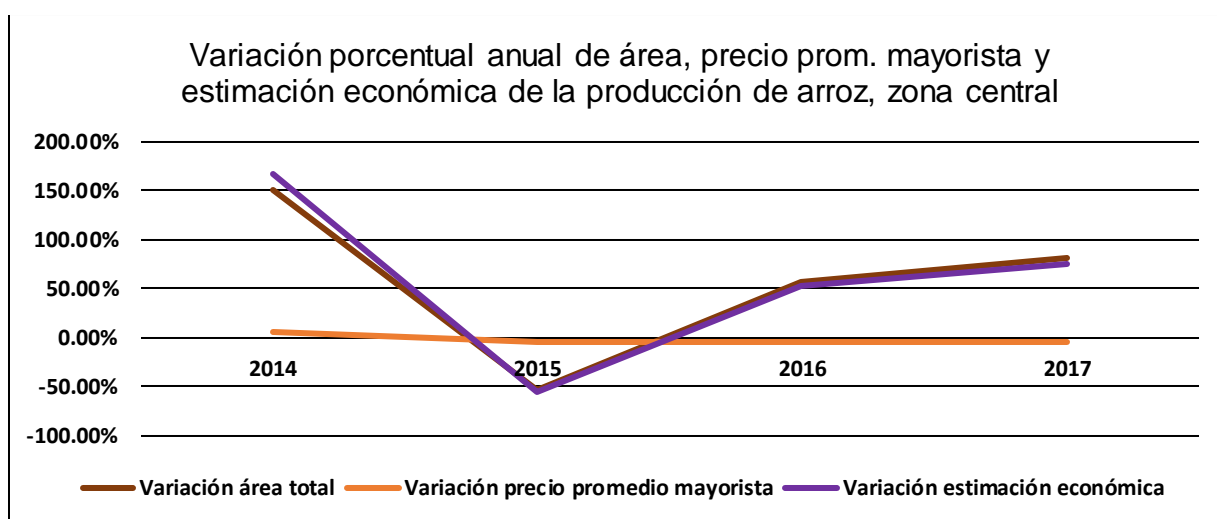
## Arroz

Año	Área total (ha)	Rendimiento	Unidad área	Producción estimada (qq)	Precio prom. Mayorista (USD/qq)	Estimación económica a precio prom. mayorista
2013	811.49	256	qq/ha	207,740.54	\$38.05	\$7,904,527.36
2014	2038.04			521,736.98	\$40.44	\$21,099,043.41
2015	958.54			245,385.58	\$38.26	\$9,388,452.41
2016	1510.57			386,707.04	\$36.80	\$14,230,819.08
2017	2740.72			701,624.10	\$35.40	\$24,837,493.07

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

Tabla 68. Estimación económica de la producción de arroz, zona central

Luego de verificar la variación de los parámetros ambientales (ver tabla 66) representada en el gráfico 16, en el año 2015 respecto a 2014, aparentemente dicha variación afectó de forma negativa el área estimada de cultivo de arroz al disminuir a 958.54 hectáreas; sin embargo, no se encontró relación entre la variación de los parámetros y los precios, pues también disminuyeron. Todo lo anterior, ocasionó que la estimación económica obtuviera un decremento de 55.50%. Para el año 2017 en comparación a 2016, tomando en cuenta la variación de los parámetros ambientales ya descritos en el apartado anterior (del cultivo de maíz), dicha variación presenta relación con el área estimada del cultivo de arroz que aumentó 81.44%, lo cual se corresponde con la disminución de 3.80% en el precio a nivel mayorista; por lo que se incrementó la estimación económica 74.53%.



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

Gráfico 18. Variación porcentual de área, precio prom. mayorista y estimación económica de la producción de arroz, zona central

### 3.5 Zona Oriental

#### 3.5.1 Mapas de temperatura

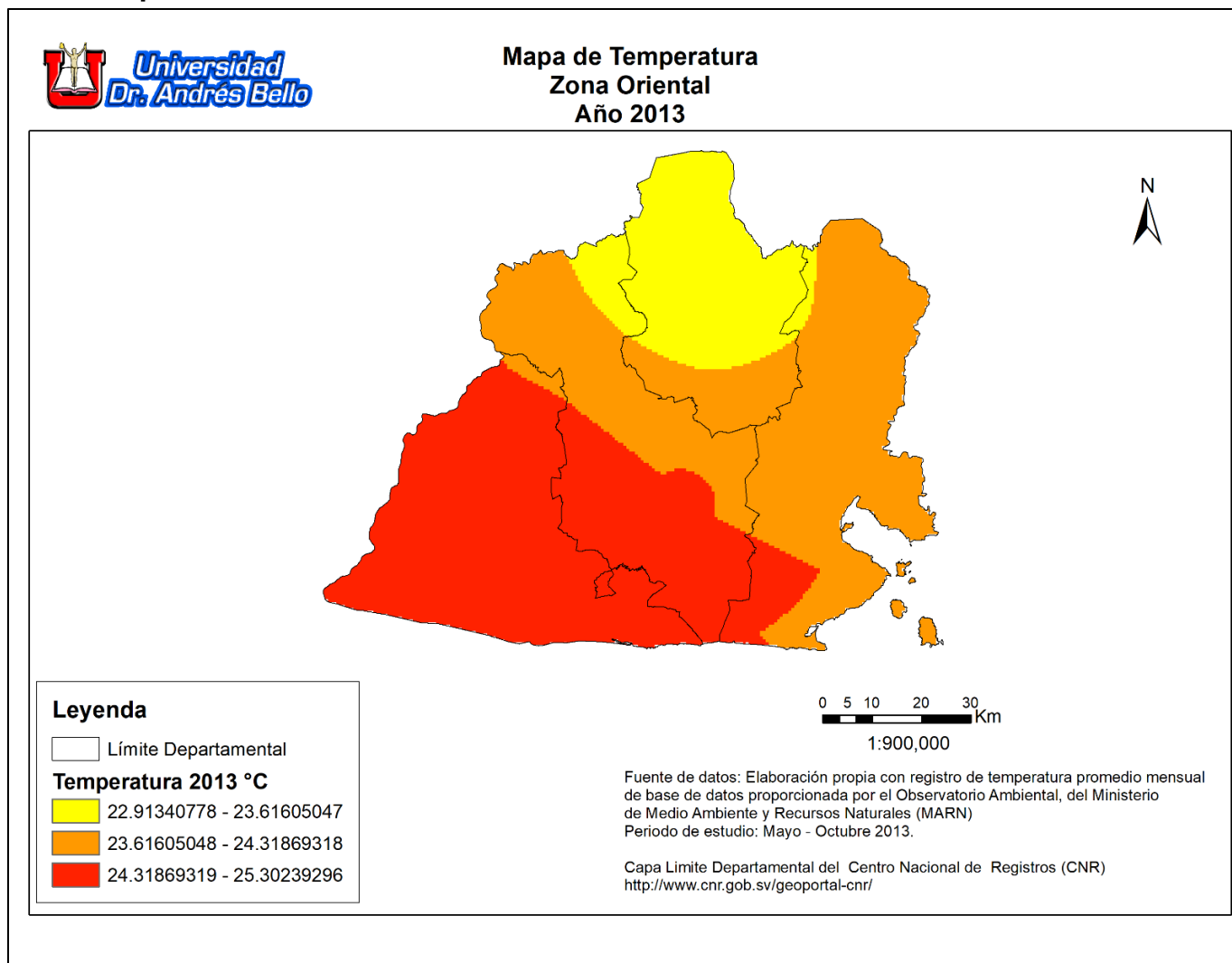


Figura 90. Mapa de temperatura, zona oriental, 2013

Mapa de Temperatura  
Zona Oriental  
Año 2014

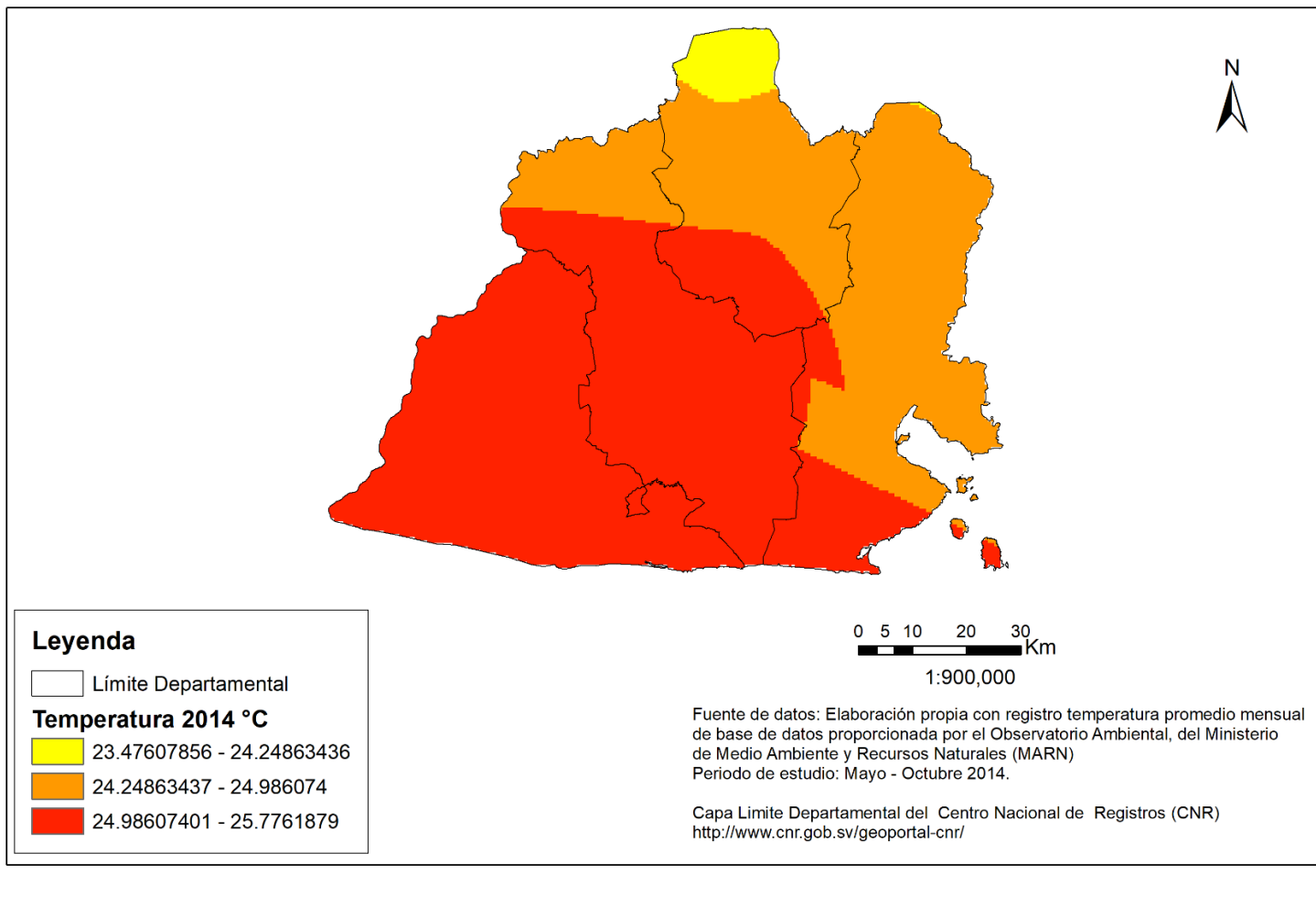


Figura 91. Mapa de temperatura, zona oriental, 2014



Mapa de Temperatura  
Zona Oriental  
Año 2015

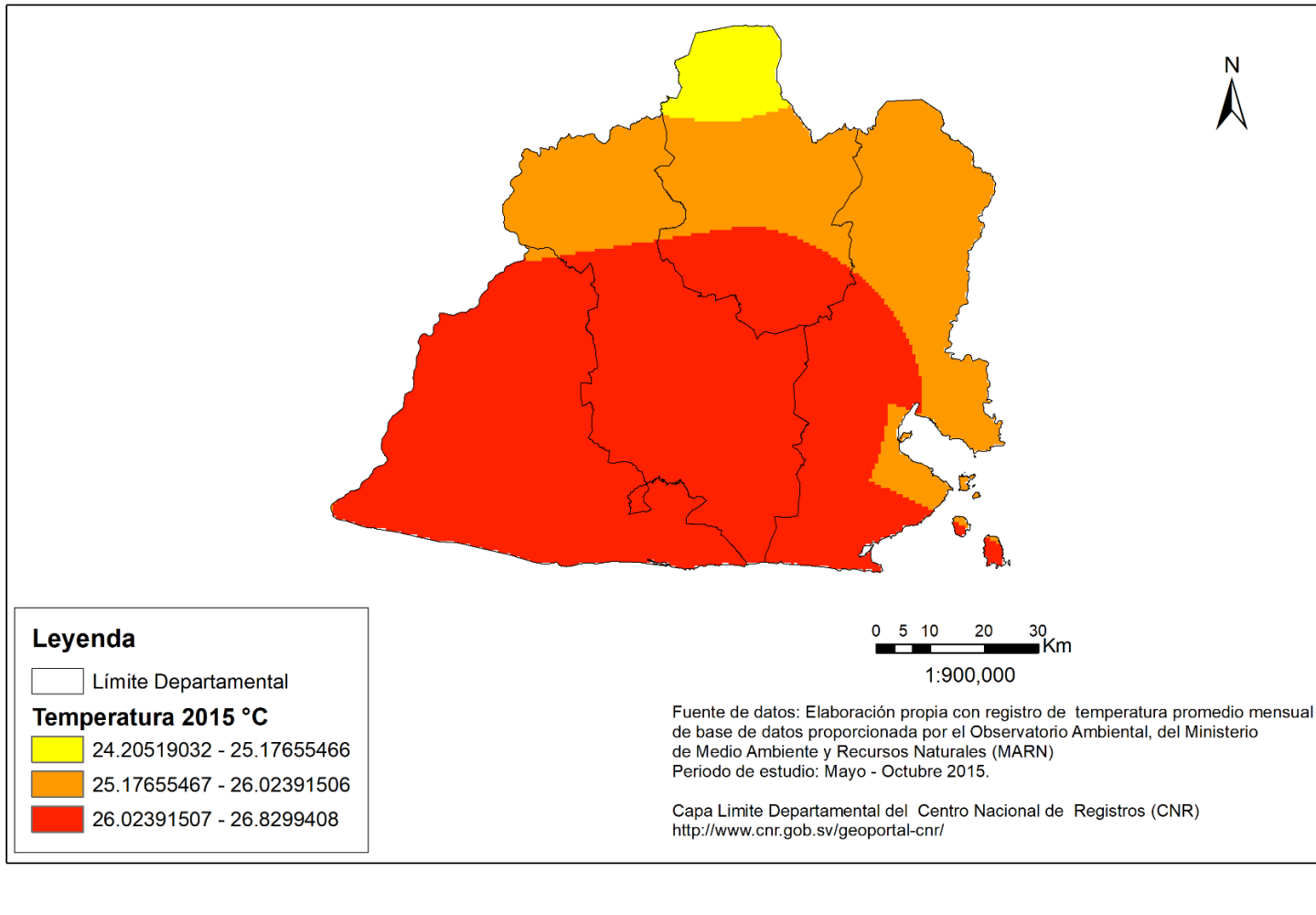


Figura 92. Mapa de temperatura, zona oriental, 2015

**Mapa de Temperatura  
Zona Oriental  
Año 2016**

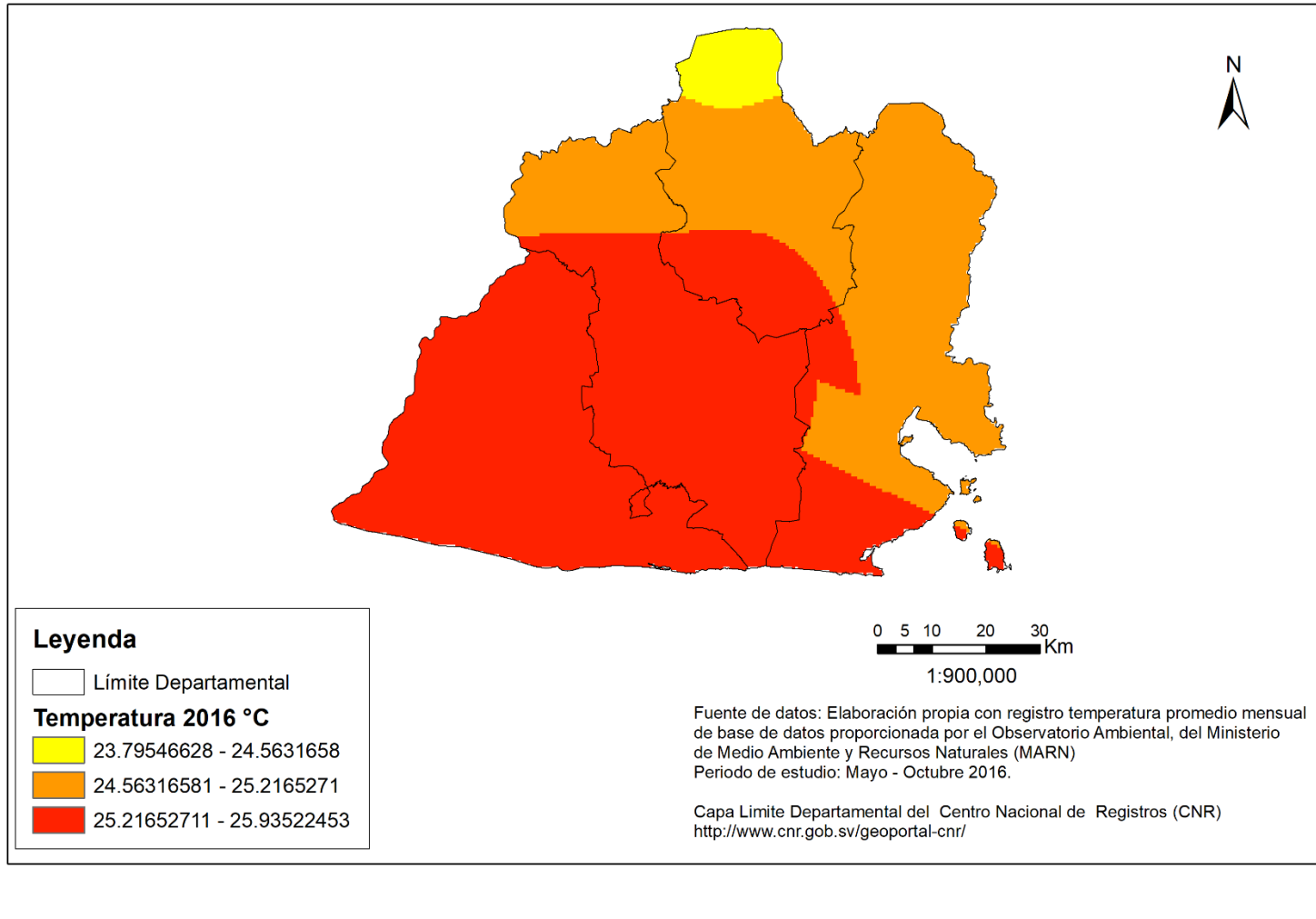


Figura 93. Mapa de temperatura, zona oriental, 2016

### Mapa de Temperatura Zona Oriental Año 2017

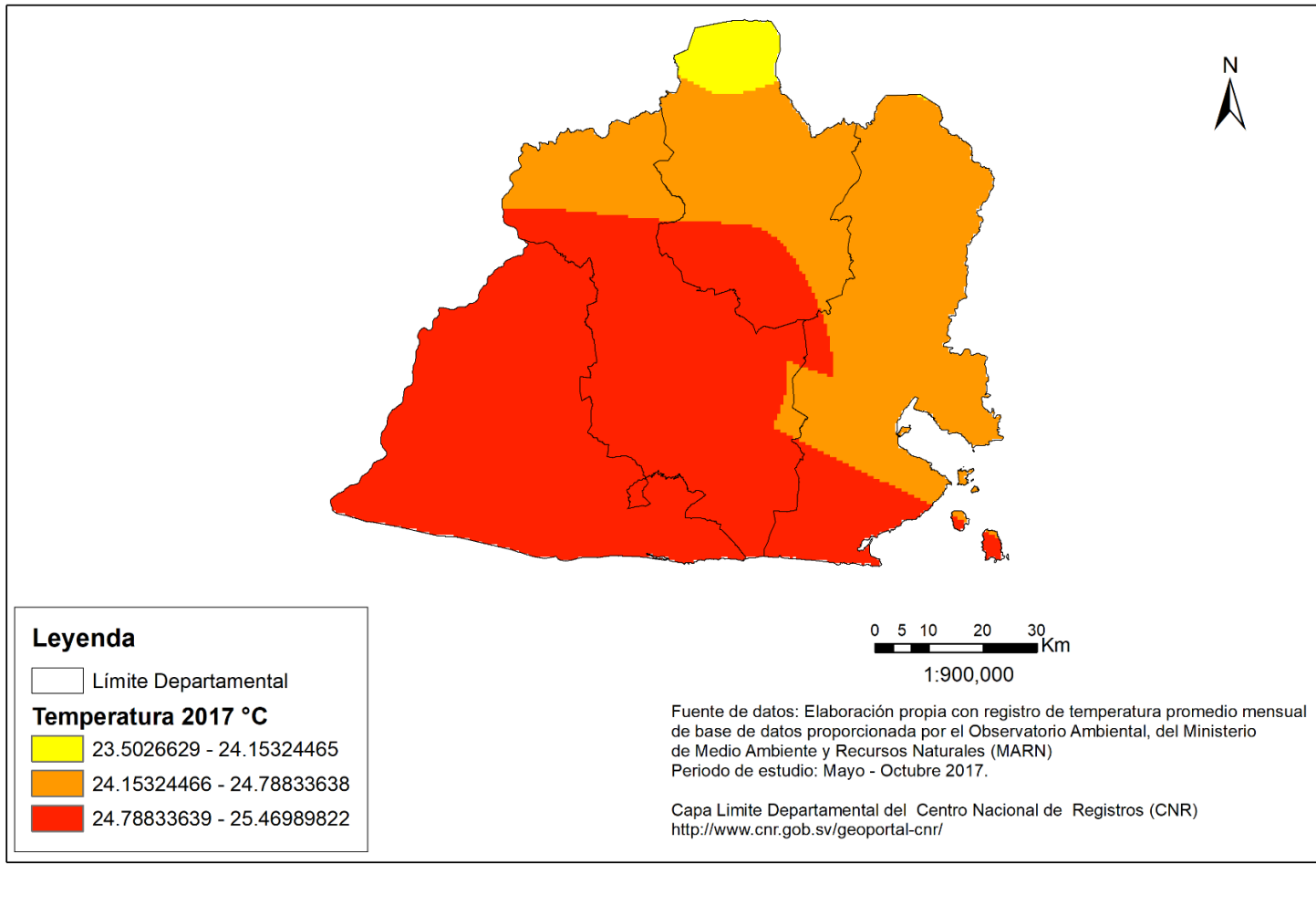


Figura 94. Mapa de temperatura, zona oriental, 2017

### 3.5.2 Mapas de humedad relativa

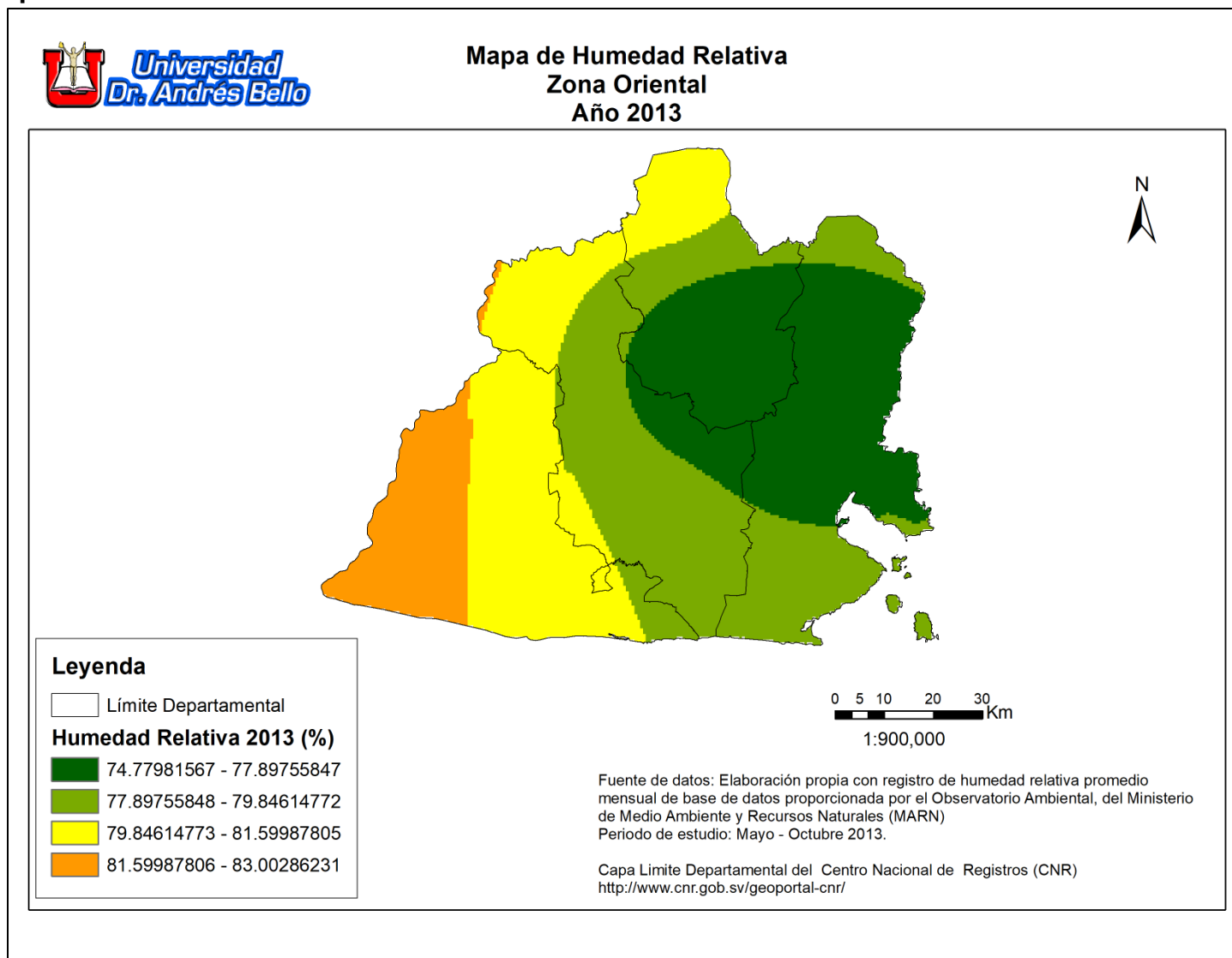


Figura 95. Mapa de humedad relativa, zona oriental, 2013

Mapa de Humedad Relativa  
Zona Oriental  
Año 2014

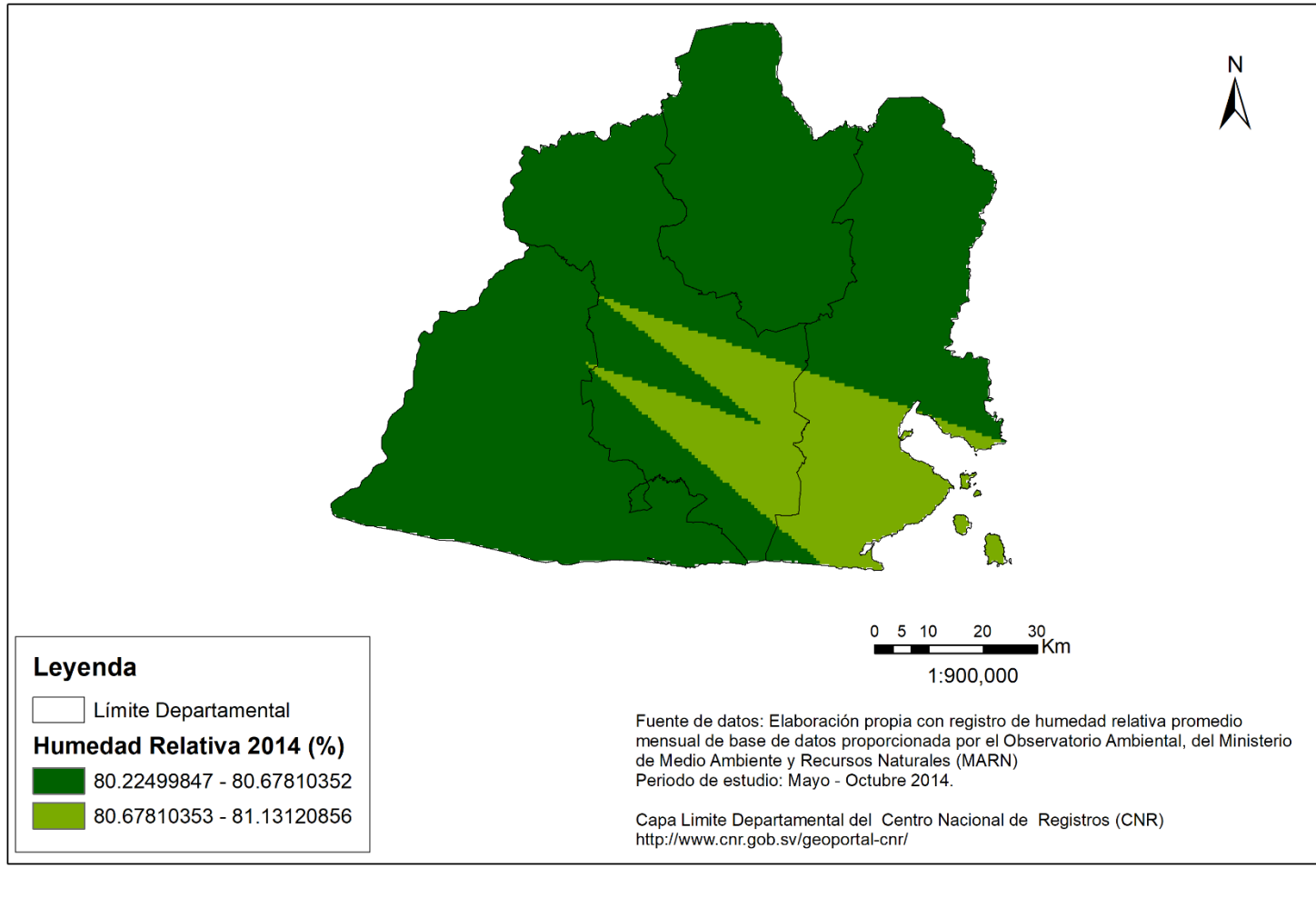


Figura 96. Mapa de humedad relativa, zona oriental, 2014

Mapa de Humedad Relativa  
Zona Oriental  
Año 2015

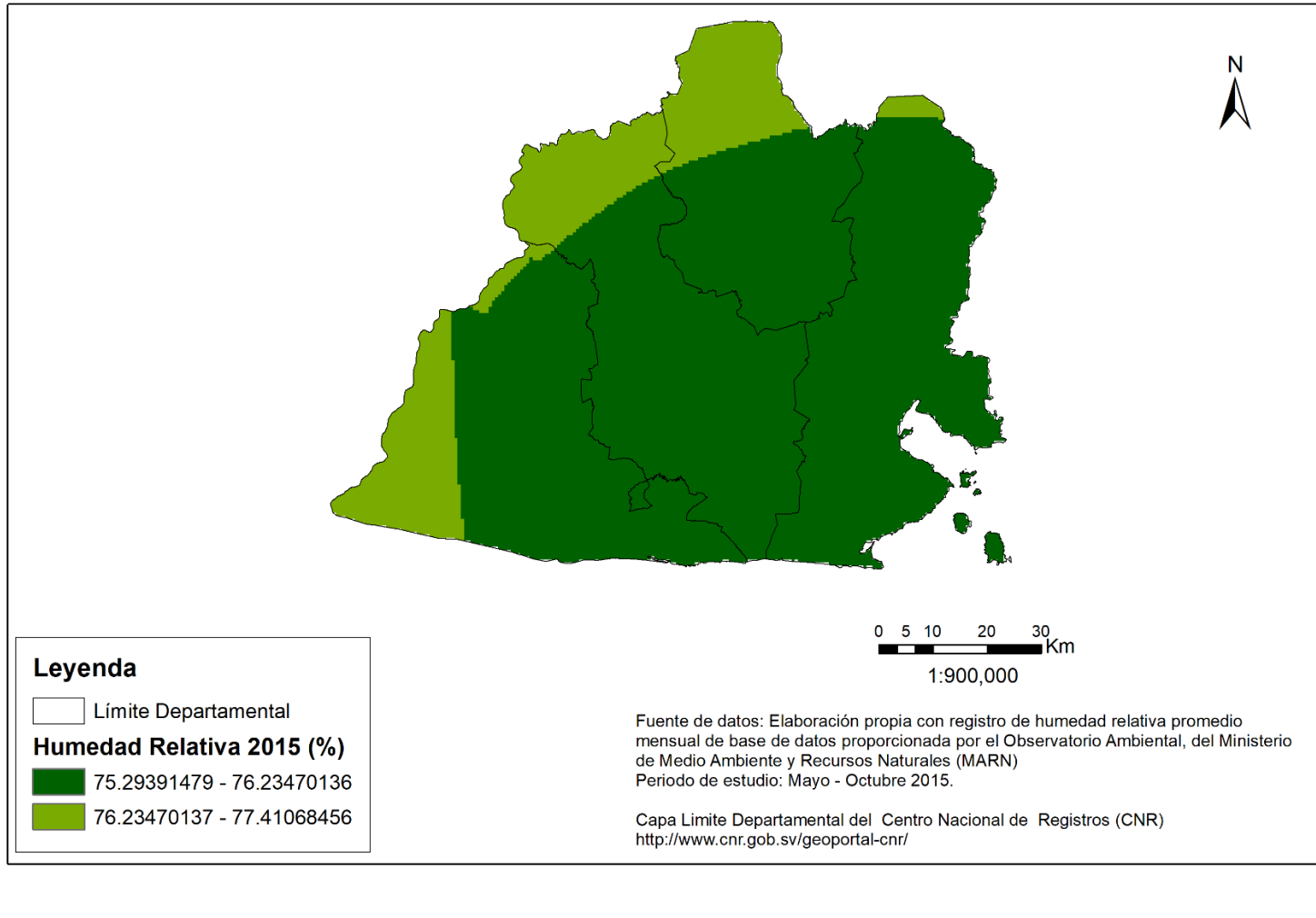


Figura 97. Mapa de humedad relativa, zona oriental, 2015

### Mapa de Humedad Relativa Zona Oriental Año 2016

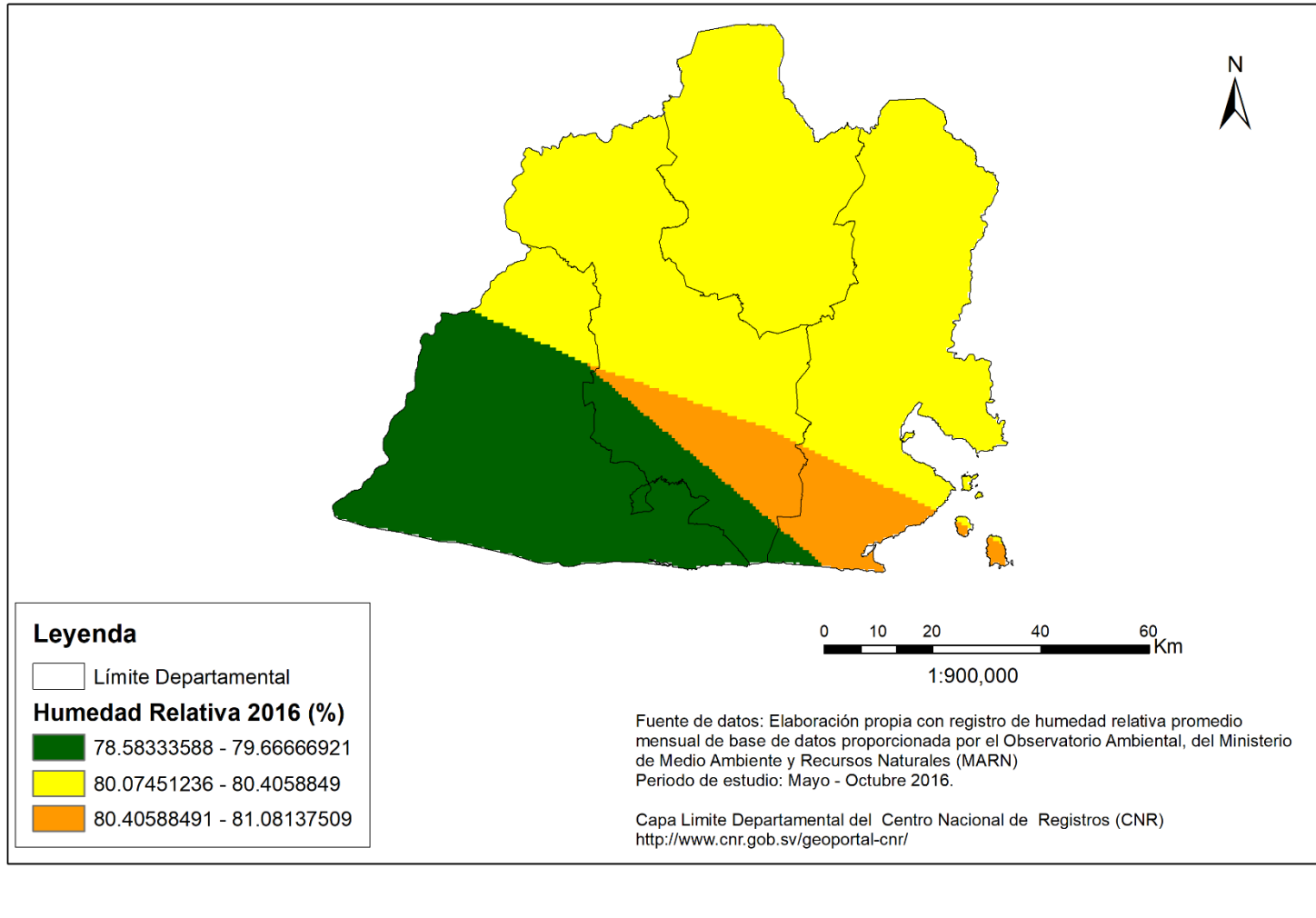


Figura 98. Mapa de humedad relativa, zona oriental, 2016

Mapa de Humedad Relativa  
Zona Oriental  
Año 2017

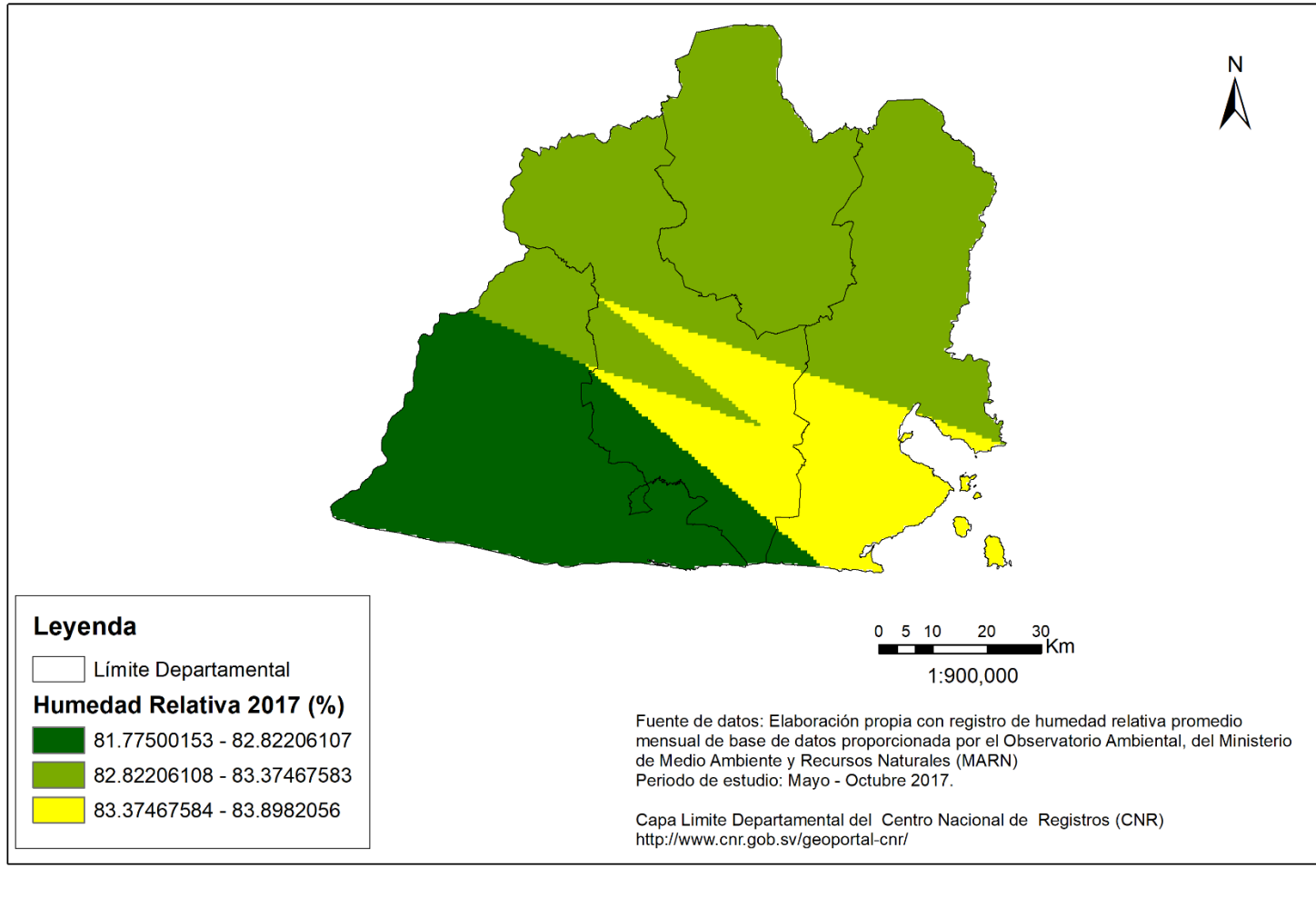


Figura 99. Mapa de humedad relativa, zona oriental, 2017



### 3.5.3 Análisis de correlación, zona oriental

Correlación bivariada 2013						
		Latitud	Metros sobre el nivel del mar	Precipitación acumulada 2013	Temperatura media 2013	Humedad relativa media 2013
<b>Latitud</b>	Correlación de Pearson	1	0.935	0.803	-0.954	0.244
	Sig. (bilateral)		0.230	0.407	0.195	0.843
	N	3	3	3	3	3
<b>Metros sobre el nivel del mar</b>	Correlación de Pearson	0.935	1	0.962	-0.786	0.571
	Sig. (bilateral)	0.230		0.177	0.425	0.613
	N	3	3	3	3	3
<b>Precipitación acumulada 2013</b>	Correlación de Pearson	0.803	0.962	1	-0.586	0.774
	Sig. (bilateral)	0.407	0.177		0.602	0.436
	N	3	3	3	3	3
<b>Temperatura media 2013</b>	Correlación de Pearson	-0.954	-0.786	-0.586	1	0.059
	Sig. (bilateral)	0.195	0.425	0.602		0.962
	N	3	3	3	3	3
<b>Humedad relativa media 2013</b>	Correlación de Pearson	0.244	0.571	0.774	0.059	1
	Sig. (bilateral)	0.843	0.613	0.436	0.962	
	N	3	3	3	3	3

Fuente: elaboración propia a partir de los datos del MARN

Tabla 69. Correlación bivariada 2013, zona oriental

Correlación bivariada 2014						
		Latitud	Metros sobre el nivel del mar	Precipitación acumulada 2014	Temperatura media 2014	Humedad relativa media 2014
<b>Latitud</b>	Correlación de Pearson	1	0.935	0.828	-0.901	0.841
	Sig. (bilateral)		0.230	0.379	0.285	0.363
	N	3	3	3	3	3
<b>Metros sobre el nivel del mar</b>	Correlación de Pearson	0.935	1	0.973	-0.996	0.978
	Sig. (bilateral)	0.230		0.149	0.055	0.133
	N	3	3	3	3	3
<b>Precipitación acumulada 2014</b>	Correlación de Pearson	0.828	0.973	1	-0.989	1.000*
	Sig. (bilateral)	0.379	0.149		0.094	0.016
	N	3	3	3	3	3
<b>Temperatura media 2014</b>	Correlación de Pearson	-0.901	-0.996	-0.989	1	-0.993
	Sig. (bilateral)	0.285	0.055	0.094		0.078
	N	3	3	3	3	3
<b>Humedad relativa media 2014</b>	Correlación de Pearson	0.841	0.978	1.000*	-0.993	1
	Sig. (bilateral)	0.363	0.133	0.016	0.078	
	N	3	3	3	3	3

\*. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

Fuente: elaboración propia a partir de los datos del MARN

Tabla 70. Correlación bivariada 2014, zona oriental

Correlación bivariada 2015						
		Latitud	Metros sobre el nivel del mar	Precipitación acumulada 2015	Temperatura media 2015	Humedad relativa media 2015
Latitud	Correlación de Pearson	1	0.935	1.000**	-0.905	0.828
	Sig. (bilateral)		0.230	0.002	0.280	0.379
	N	3	3	3	3	3
Metros sobre el nivel del mar	Correlación de Pearson	0.935	1	0.936	-.997*	0.973
	Sig. (bilateral)	0.230		0.228	0.050	0.149
	N	3	3	3	3	3
Precipitación acumulada 2015	Correlación de Pearson	1.000**	0.936	1	-0.906	0.829
	Sig. (bilateral)	0.002	0.228		0.278	0.377
	N	3	3	3	3	3
Temperatura media 2015	Correlación de Pearson	-0.905	-.997*	-0.906	1	-0.988
	Sig. (bilateral)	0.280	0.050	0.278		0.100
	N	3	3	3	3	3
Humedad relativa media 2015	Correlación de Pearson	0.828	0.973	0.829	-0.988	1
	Sig. (bilateral)	0.379	0.149	0.377	0.100	
	N	3	3	3	3	3

\*\* . 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 del MARN

Tabla 71. Correlación bivariada 2015, zona oriental

Correlación bivariada 2016						
		Latitud	Metros sobre el nivel del mar	Precipitación acumulada 2016	Temperatura media 2016	Humedad relativa media 2016
Latitud	Correlación de Pearson	1	0.935	0.989	-0.878	0.457
	Sig. (bilateral)		0.230	0.096	0.318	0.698
	N	3	3	3	3	3
Metros sobre el nivel del mar	Correlación de Pearson	0.935	1	0.978	-0.991	0.742
	Sig. (bilateral)	0.230		0.134	0.088	0.468
	N	3	3	3	3	3
Precipitación acumulada 2016	Correlación de Pearson	0.989	0.978	1	-0.940	0.585
	Sig. (bilateral)	0.096	0.134		0.222	0.602
	N	3	3	3	3	3
Temperatura media 2016	Correlación de Pearson	-0.878	-0.991	-0.940	1	-0.827
	Sig. (bilateral)	0.318	0.088	0.222		0.380
	N	3	3	3	3	3
Humedad relativa media 2016	Correlación de Pearson	0.457	0.742	0.585	-0.827	1
	Sig. (bilateral)	0.698	0.468	0.602	0.380	
	N	3	3	3	3	3

Fuente: elaboración propia a partir de los datos del MARN

Tabla 72. Correlación bivariada 2016, zona oriental

<b>Correlación bivariada 2017</b>						
		Latitud	Metros sobre el nivel del mar	Precipitación acumulada 2017	Temperatura media 2017	Humedad relativa media 2017
<b>Latitud</b>	Correlación de Pearson	1	0.935	0.982	-0.857	0.413
	Sig. (bilateral)		0.230	0.123	0.345	0.729
	N	3	3	3	3	3
<b>Metros sobre el nivel del mar</b>	Correlación de Pearson	0.935	1	0.986	-0.984	0.708
	Sig. (bilateral)	0.230		0.107	0.115	0.499
	N	3	3	3	3	3
<b>Precipitación acumulada 2017</b>	Correlación de Pearson	0.982	0.986	1	-0.939	0.580
	Sig. (bilateral)	0.123	0.107		0.223	0.606
	N	3	3	3	3	3
<b>Temperatura media 2017</b>	Correlación de Pearson	-0.857	-0.984	-0.939	1	-0.824
	Sig. (bilateral)	0.345	0.115	0.223		0.384
	N	3	3	3	3	3
<b>Humedad relativa media 2017</b>	Correlación de Pearson	0.413	0.708	0.580	-0.824	1
	Sig. (bilateral)	0.729	0.499	0.606	0.384	
	N	3	3	3	3	3

Fuente: elaboración propia a partir de los datos del MARN

*Tabla 73. Correlación bivariada 2017, zona oriental*

Con la elaboración de las tablas de correlación bivariada anual, se pudo identificar únicamente 3 correlaciones; una de ellas en el año 2014, entre precipitación y humedad relativa; las dos restantes en el año 2015, entre latitud y precipitación, y entre metros sobre el nivel del mar y temperatura.

Algo sumamente importante es que de las 23 estaciones del MARN distribuidas en todo El Salvador, solo tres corresponden a la zona oriental, lo cual limitó el análisis de correlación bivariada, ya que la cantidad de registros en la base de datos disminuyó considerablemente.

Luego de obtener únicamente las correlaciones ya mencionadas, se decidió no efectuar el procedimiento de regresión lineal para la zona oriental, pues la variable dependiente del modelo de regresión sería precipitación acumulada, con la cual solo se determinó una correlación en los años 2014 y 2015, respectivamente.

### 3.5.4 Análisis de variación de parámetros ambientales, áreas y precios del maíz y arroz, zona oriental

#### 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	125,507.39		24.11		78.89		1,661.00		\$14.34		\$0.20	
2014	181,756.98	44.82%	24.63	2.18%	80.68	2.26%	1,882.00	13.31%	\$16.58	15.62%	\$0.22	10.00%
2015	34,816.44	-80.84%	25.52	3.61%	76.35	-5.36%	1,473.00	-21.73%	\$20.03	20.81%	\$0.24	9.09%
2016	144,536.11	315.14%	24.87	-2.55%	79.83	4.56%	1,386.00	-5.91%	\$18.20	-9.14%	\$0.22	-8.33%
2017	145,679.02	0.79%	24.49	-1.55%	82.84	3.77%	1,820.00	31.31%	\$12.20	-32.97%	\$0.19	-13.64%

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

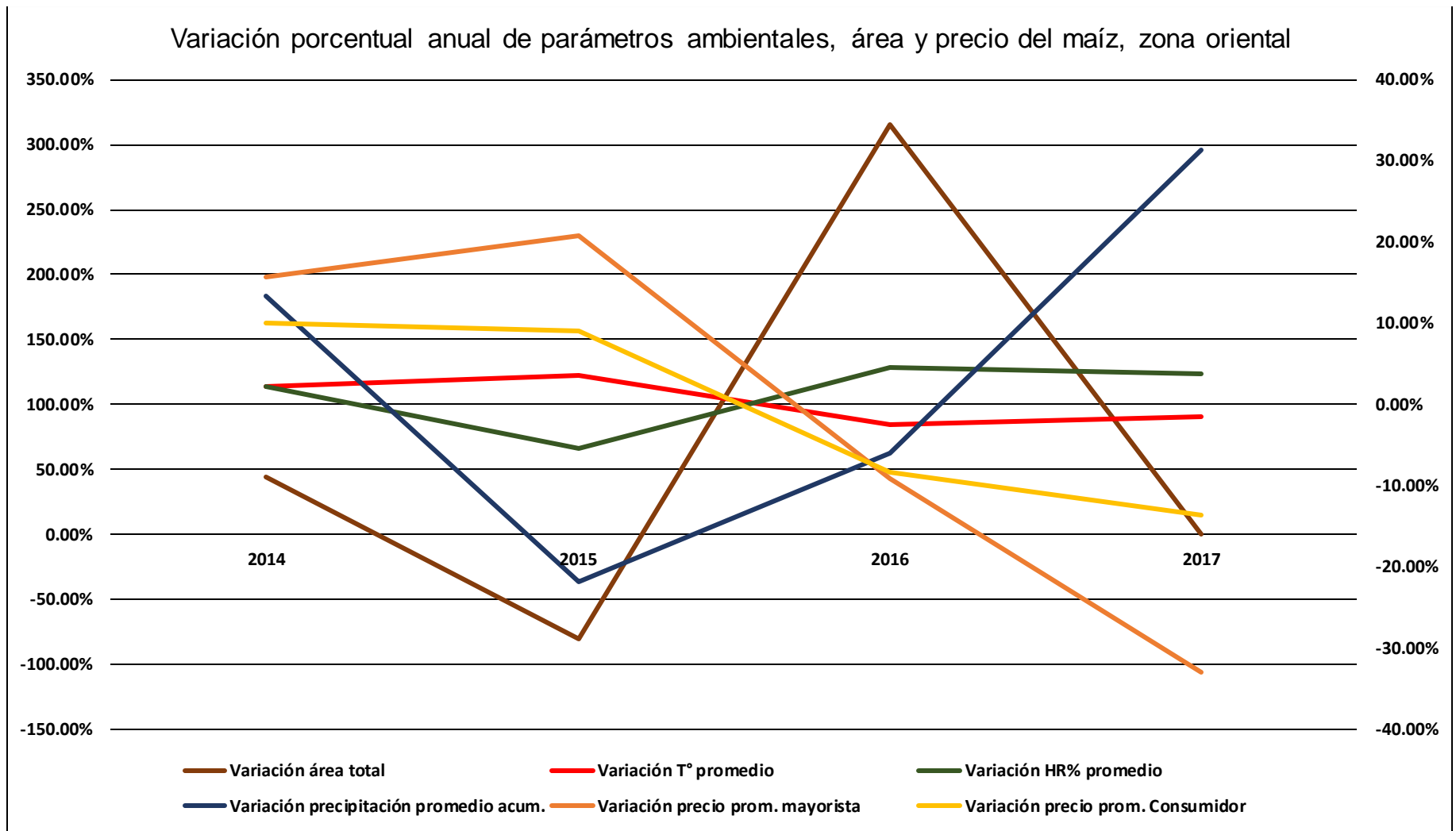
Tabla 74. Variación de parámetros ambientales, área y precio del maíz, zona oriental

#### Arroz

Año	Area 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	10.48		24.11		78.89		1,661.00		\$38.05		\$0.47	
2014	74.96	615.03%	24.63	2.18%	80.68	2.26%	1,882.00	13.31%	\$40.44	6.28%	\$0.50	6.38%
2015	4.92	-93.44%	25.52	3.61%	76.35	-5.36%	1,473.00	-21.73%	\$38.26	-5.39%	\$0.47	-6.00%
2016	177.64	3510.05%	24.87	-2.55%	79.83	4.56%	1,386.00	-5.91%	\$36.80	-3.82%	\$0.45	-4.26%
2017	183.81	3.47%	24.49	-1.55%	82.84	3.77%	1,820.00	31.31%	\$35.40	-3.80%	\$0.45	0.00%

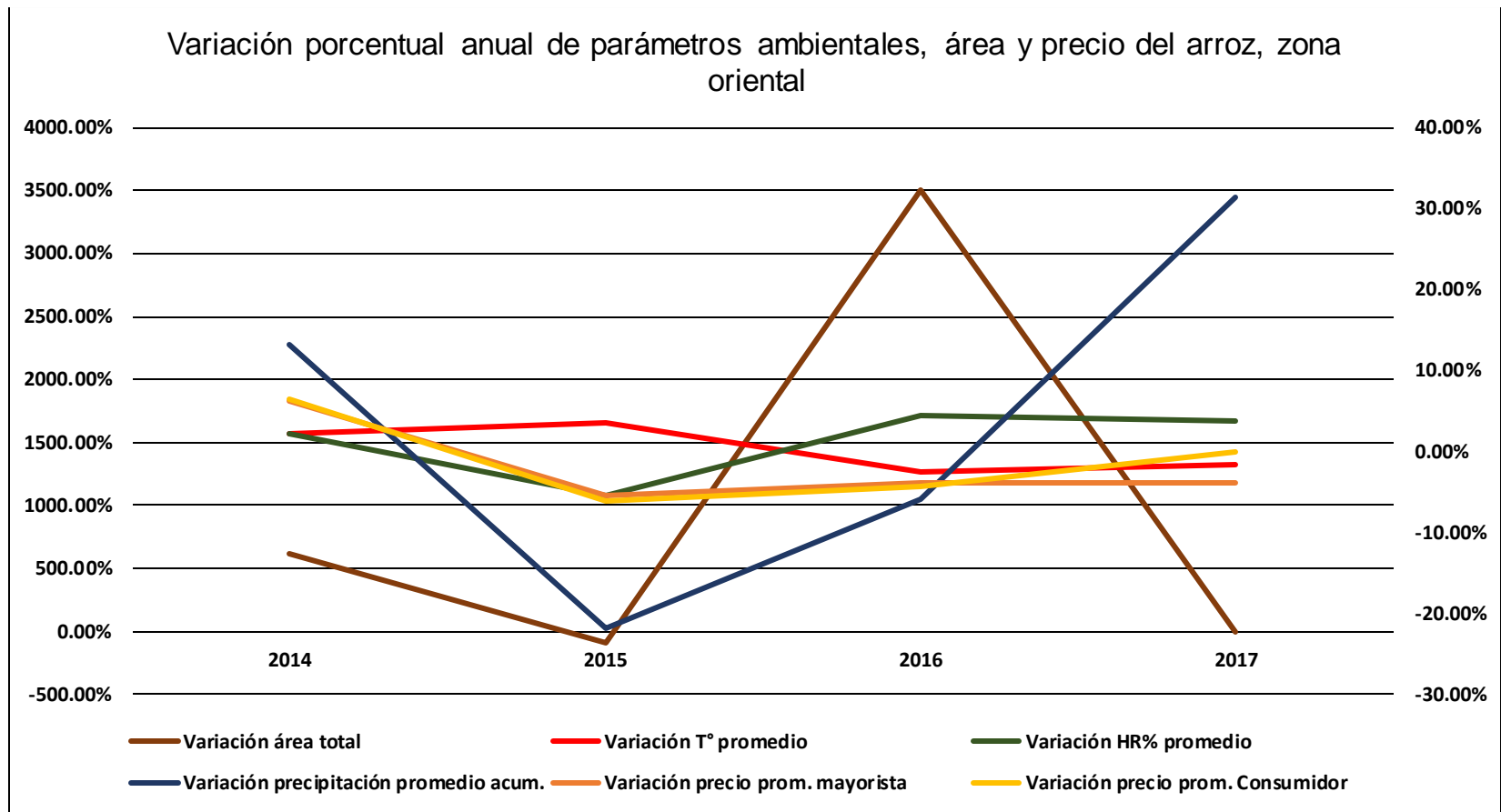
Fuente: elaboración propia a partir de los datos del MARN y de los anuarios de estadísticas de la DGEA

Tabla 75. Variación de parámetros ambientales, área y precio del arroz, zona oriental



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

Gráfico 19. Variación porcentual anual de parámetros ambientales, área y precio del maíz, zona oriental



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

Gráfico 20. Variación porcentual anual de parámetros ambientales, área y precio del arroz, zona oriental<sup>15</sup>

<sup>15</sup> 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).

## Maíz

En el año 2015 respecto a 2014, se obtuvo una temperatura media de 25.52 °C con un aumento de 3.61%, lo cual implicó una menor humedad relativa de 76.35%. Según Rivas et al (2019), la precipitación acumulada presentó una disminución de 21.73%; lo cual posiblemente influyó para que sucediera el aumento de 20.81% en el precio a nivel mayorista, y el aumento de 9.09% en el precio de consumidor. En este año se identificó la relación inversa que en general existe entre la temperatura y humedad relativa. Por otra parte, se confirma en este caso que una mayor temperatura, implicó una menor cantidad de precipitación; y que esta disminución en lluvia, es posiblemente una de las variables incluidas en esta investigación, que propició la reducción en el área estimada del cultivo de maíz, identificando un área de 34,816.44 ha.

En 2017 comparado con 2016, el área total estimada de maíz para la zona oriental aumentó a 145,679.02 hectáreas, posiblemente debido a la disminución de 1.55% en la temperatura media y el aumento de 3.77% en humedad relativa. Por otra parte, Rivas et al (2019) identificó un 31.31% de aumento en la precipitación acumulada de 2017. Al igual que en 2015, en 2017 se identifica que la disminución de temperatura tiene relación inversa con el aumento en la humedad relativa; y por tanto, hubo una mayor cantidad de lluvia acumulada en este año. Al mismo tiempo, se identifica correspondencia de todo lo anterior, con los precios a nivel mayorista y de consumidor, pues ambos registraron decremento de 32.97% y 13.64%, respectivamente.

## Arroz

Teniendo presente la variación identificada en los parámetros ambientales para el año de 2015 (en comparación con 2014), ya mencionada en el apartado anterior (maíz); dicha variación aparentemente provocó la disminución del área estimada del cultivo de arroz, con un decremento de 93.44%. Sin embargo, no se encuentra relación de lo anterior, con el comportamiento de los precios de mayorista y de consumidor, pues ambos reportaron disminución.

Según la variabilidad presentada por los parámetros ambientales incluidos en esta investigación, en 2017 comparado con 2016, parece que el aumento de 3.47% del área estimada de cultivo de arroz, tiene relación con la disminución de temperatura y el aumento de humedad relativa y precipitación acumulada. Al mismo tiempo, los precios de mayorista y consumidor posiblemente disminuyeron por el comportamiento de las variables ya mencionadas.

### 3.5.5 Estimación económica de la producción de maíz y arroz, zona oriental

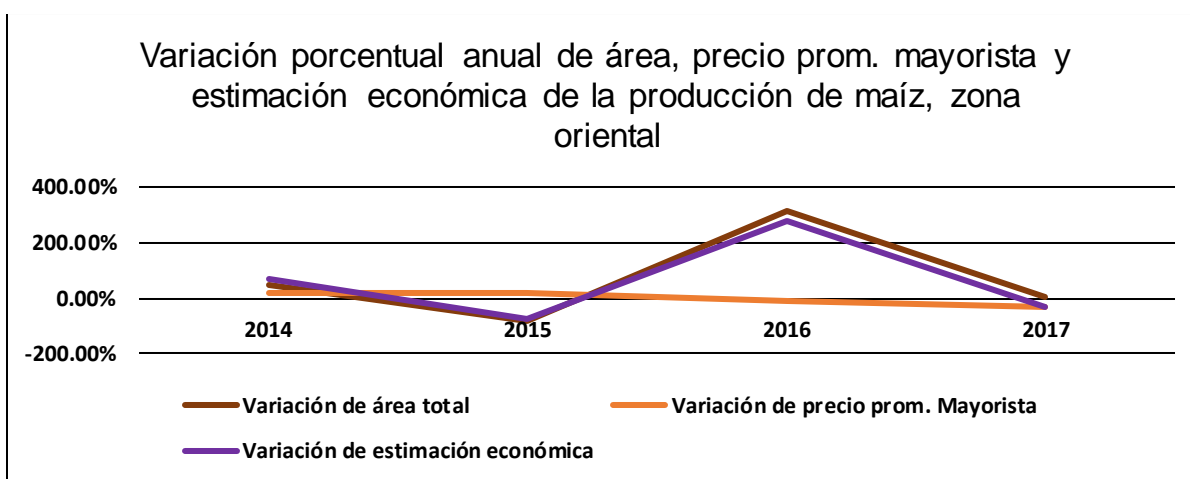
#### Maíz

Año	Área total (ha)	Rendimiento	Unidad área	Producción estimada (qq)	Precio prom. Mayorista (USD/qq)	Estimación económica a precio prom. mayorista
2013	125,507.39	115.65	qq/ha	14,514,929.80	\$14.34	\$208,144,093.36
2014	181,756.98			21,020,195.16	\$16.58	\$348,514,835.69
2015	34,816.44			4,026,521.26	\$20.03	\$80,651,220.86
2016	144,536.11			16,715,600.85	\$18.20	\$304,223,935.49
2017	145,679.02			16,847,778.82	\$12.20	\$205,542,901.65

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

Tabla 76. Estimación económica de la producción de maíz, zona oriental

En 2015 respecto a 2014, según la variación presentada por los parámetros ambientales (ver tabla 74) que puede apreciarse con más claridad en el gráfico 19: el aumento de temperatura, la disminución de humedad relativa y el decremento de precipitación acumulada, posiblemente ocasionó que el área total estimada del cultivo de maíz disminuyera; lo cual tuvo una repercusión negativa en la producción; y por tanto en la estimación económica de ese año que presentó una disminución de 76.86%. En el año 2017, según el comportamiento de la temperatura, la humedad relativa y la precipitación; el área estimada de cultivo de maíz aumentó 0.79%, pero la estimación económica disminuyó 32.44%; ya que el precio a nivel mayorista del quintal de maíz bajó 32.97%.



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

Gráfico 21. Variación porcentual anual de área, precio prom. mayorista y estimación económica de la producción de maíz, zona oriental



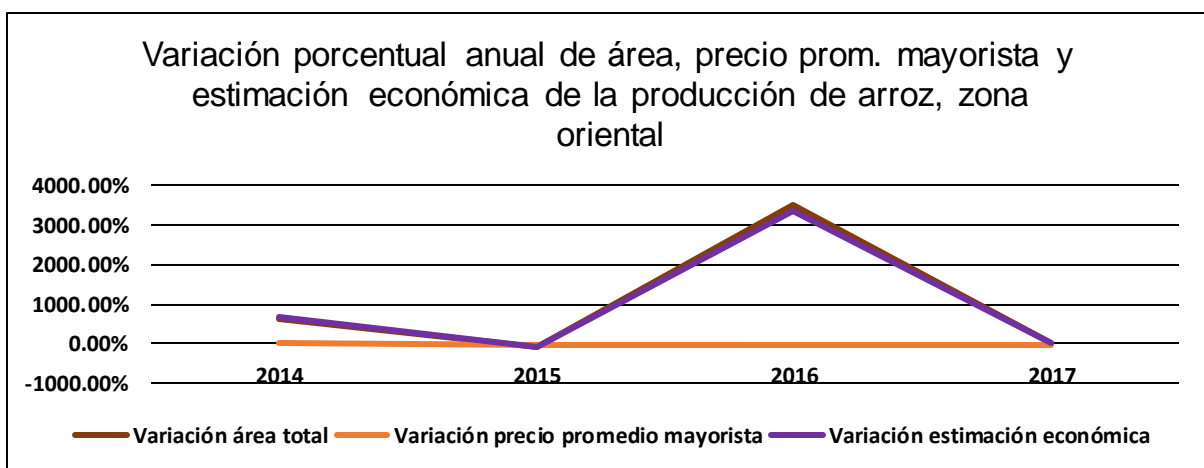
## Arroz

Año	Área total (ha)	Rendimiento	Unidad área	Producción estimada (qq)	Precio prom. Mayorista (USD/qq)	Estimación económica a precio prom. mayorista
2013	10.48	256	qq/ha	2,683.70	\$38.05	\$102,114.83
2014	74.96			19,189.18	\$40.44	\$776,010.50
2015	4.92			1,259.71	\$38.26	\$48,196.53
2016	177.64			45,476.19	\$36.80	\$1,673,523.77
2017	183.81			47,055.38	\$35.40	\$1,665,760.44

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

Tabla 77. Estimación económica de la producción de arroz, zona oriental

Según la variación de parámetros ambientales (ver tabla 75) representada en el gráfico 20, en el año 2015 en comparación con 2014: el aumento de la temperatura, la disminución de humedad relativa y el decremento de precipitación; probablemente ocasionó que el área estimada de cultivo de arroz disminuyera 93.79% (4.92 ha), lo cual posiblemente provocó escasez del producto; sin embargo, el precio por quintal a nivel mayorista disminuyó a \$38.26 (disminución de 5.39%). El comportamiento del precio no tiene una relación con las variaciones antes mencionadas. Dado todo lo anterior, la estimación económica de este cultivo decreció 93.79%. En el año 2017 respecto a 2016, según el comportamiento de la temperatura, la humedad relativa y la precipitación; el área estimada de cultivo de arroz aumentó 3.47%; sin embargo, la estimación económica disminuyó 0.46%, ya que el precio a nivel mayorista del quintal de maíz bajó 3.80%.



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

Gráfico 22. Variación porcentual de área, precio prom. mayorista y estimación económica de la producción de arroz, zona oriental.

#### **4. DISCUSIÓN**

El uso de nueva tecnología que se adapte a las necesidades presentes y del futuro en el tema de agricultura, es de suma importancia; pues se debe garantizar la seguridad alimentaria (FAO, 2002).

En este sentido y en función de lo planteado por FAO (2002), esta investigación tomó como insumos los productos resultantes de la investigación de Rivas et al (2019), derivados del procesamiento y análisis de imágenes del satélite Landsat 8, en donde se estimaron las áreas de cultivos de maíz y arroz para el periodo 2013-2017.

Esta investigación posee algunos puntos en común con la investigación hecha por Farrell y Rivas (2010), en cuanto a la metodología utilizada para la localización geográfica de las zonas de estudio. En ambos casos se usó un receptor GPS para localizar las coordenadas de cada lugar, posteriormente se empleó un software especializado para elaborar los polígonos, delimitando así zonas de estudio. Adicionalmente como respaldo y medio de verificación, en esta investigación se aumentó la precisión en la localización de las zonas de estudio, realizando vuelos fotogramétricos con dron, para obtener ortomosaicos; facilitando aún más la elaboración de los polígonos ya mencionados. También es importante mencionar que la medida de superficie adoptada para expresar el área estimada de los cultivos de maíz y arroz fue la hectárea, tal como lo recomienda CEPAL, BM y FAO (2016).

Las imágenes satelitales utilizadas por Rivas et al (2019) para determinar el área ocupada por los cultivos de maíz y arroz, fueron obtenidas de la página web del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS), siendo captadas por el satélite Landsat 8. Una investigación similar fue realizada por el Consejo Federal de Inversiones de Argentina -CFIA- (2001), en la cual utilizaron imágenes de los satélites Landsat 5 y Landsat 7, con la diferencia que además de identificar cultivo de maíz, también identificaron superficie utilizada por caña de azúcar, tabaco y soja. En ese caso, el CFIA no incluyó el cultivo de arroz.

FAO (2002) menciona que las investigaciones en torno a la agricultura o temáticas afines deben ser abordadas de forma multidisciplinaria; con lo cual se confirma la importancia de la presente investigación.

Para el procesamiento de las imágenes satelitales Rivas et al (2019) hicieron uso tanto de software de pago (ArcGIS 10.6) como de software libre (QGIS 3.0.2), ya que los procedimientos de ambos programas se complementaban. El uso de los dos tipos de software mencionados es respaldado por Ballvé y Satorre (2016).

Bocco, Sayago, Violini y Willington (2015) reconocen la utilidad del satélite Landsat; sin embargo, manifiestan una limitante en algunas imágenes satelitales, puesto que pueden tener exceso de nubosidad. En este caso Rivas et al (2019) reportan que para todo el periodo de estudio 2013-2017 procesaron 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 y 2017, julio, agosto y octubre; finalmente para el año 2015, junio, julio y agosto. Específicamente en el año 2013 se obtuvo 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 (debido al exceso de nubosidad en las imágenes de los demás meses), no permitió identificar de forma precisa la superficie cultivada de maíz y arroz; con lo cual se verificó lo dicho por Bocco, Sayago, Violini y Willington (2015).

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

Por otra parte, 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, para poder comprender el comportamiento y la relación entre los parámetros ambientales incluidos en esta investigación. En referencia a las bases de datos, Basualdo, Berterretche y Vila (2015) señalan que el monitoreo y la constante actualización de datos es fundamental para una investigación de este tipo. Por otra parte, CEPAL, BM y FAO (2016) afirman que para comprender las variables que influyen en la producción agrícola, es necesario contar con datos completos recopilados de forma sistemática.

Según FAO (2002), 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 subtropicos, dicho potencial podría disminuir. Lo anterior, condiciona la dependencia de un país a realizar importación de granos básicos para suplir la demanda nacional de dichos productos. Por otra parte, hay que tener en cuenta que los granos básicos como maíz y arroz (además de otros cultivos) se consideran como una de las fuentes más importantes de la alimentación en El Salvador.

El Ministerio de Agroindustria de Argentina –MAA- (s.f.) coincide con Farrell y Rivas (2010) al hacer énfasis que la estimación de superficie de cultivos es de suma importancia y utilidad para diversos actores políticos, económicos y sociales; sobre todo para planificar acciones encaminadas a la asignación de recursos para el sector agrícola.

FAO (2002) menciona que no basta con realizar mejoras en la agricultura, o ejecutar investigaciones aisladas. Por tanto, es necesario realizar investigaciones donde participen los diferentes actores: agricultores, instituciones del Gobierno Central, Municipalidades, entre otros. Al respecto, Farrell y Rivas (2010) manifiestan que este tipo de investigaciones son un insumo importante para las personas de diferentes instituciones que son encargadas de la planificación y para tomadores de decisiones en temas de agricultura, seguridad alimentaria, entre otros.

En cuanto al análisis de correlación realizado a la base de datos del MARN, se identificaron algunas particularidades de los parámetros ambientales con las variables latitud y metros sobre el nivel del mar (msnm). Existe una correlación directa entre las variables latitud y msnm con un coeficiente de correlación de 0.562 y significancia en el nivel 0.01. También, msnm reportó una correlación directa con precipitación acumulada en cada año, con coeficientes entre 0.484 y 0.683 con significancia en niveles 0.05 y 0.01, lo cual indica que msnm podría ser una de las variables que posiblemente influyó en la cantidad de precipitación que se registró en las estaciones meteorológicas del MARN, a una altitud determinada. Por otra parte, msnm tuvo una correlación inversa con temperatura media de cada año, con coeficientes entre 0.967 y 0.988 con significancia en nivel 0.01. Al mismo tiempo, la temperatura media mostró una correlación inversa con la precipitación acumulada con un coeficiente entre 0.452 y 0.719 con significancia en niveles 0.05 y 0.01; con lo que se puede concluir que, para la base de datos utilizada, el aumento en temperatura, posiblemente ocasionó una disminución en la lluvia registrada. Dada la correlación inversa entre temperatura y precipitación acumulada, se puede comprender que entre la humedad relativa y precipitación exista una correlación directa; pues en general, la temperatura y la humedad relativa presentan una correlación inversa.

Los modelos de regresión lineal anuales fueron útiles para comprender hasta qué punto los metros sobre el nivel del mar, la temperatura media y la humedad relativa media de cada año como conjunto de variables independientes fueron capaces de explicar la variabilidad registrada en la precipitación acumulada. En este sentido, en el año 2015 se obtuvo el modelo que mostró el coeficiente de determinación ajustado más alto ( $R^2$  ajustado = 0.459); posiblemente por la poca variación registrada en la precipitación de cada mes, a pesar de ser uno de los años donde se obtuvo menos precipitación acumulada.

Partiendo de la estimación de área cultivada de maíz y arroz, se puede afirmar que los cultivos estudiados se han visto expuestos a diferentes condiciones según la variación de los parámetros ambientales incluidos en la investigación. En el caso de ambos cultivos, el área estimada en el año 2015 (respecto a 2014) disminuyó 28.75% (maíz) al igual que arroz (64.96%), cuando se registró una disminución de 21.69% en la precipitación acumulada, un aumento de 2.78% en la temperatura y un decremento de 4.22% en la humedad relativa; mientras que en el año 2017 (respecto a 2016), la superficie estimada de maíz aumentó 7.71% al igual que arroz (91.75%), cuando se registró una disminución de 1.51 en temperatura, un aumento de humedad relativa de 4.27% y aumento de precipitación de 29.09%.

Lo anterior coincide con los resultados de la investigación realizada por Basualdo, Berterretche y Vila (2015). Resultados similares han sido determinados por Magaña y Morales (1999) citado en Granados-Ramírez y Longar (2008), al hacer referencia a que los procesos productivos agrícolas muestran una relación con la variación de la temperatura y precipitación, entre otras variables. Dichas condiciones han aportado tanto positiva como negativamente en el aumento o reducción del área estimada de cada cultivo y; por tanto, en la estimación económica de la producción de maíz y arroz.

Por otra parte, el hallazgo de correspondencia entre el aumento de temperatura, disminución de precipitación y reducción en el área de ambos cultivos y por ende en la producción, concuerda con lo dicho por el Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias –IFPRI (2009), en cuanto a que el aumento en la temperatura tiene como consecuencia en la mayoría de los casos la reducción de la producción de cultivos.

Según la extensión del área de los cultivos estudiados, el que reportó una mayor área estimada fue el maíz en todos los años del periodo de estudio; lo cual coincide con el estudio realizado por Granados-Ramírez y Longar (2008). Por otra parte, se obtuvo que el arroz (posiblemente por requerimientos edafoclimáticos) alcanzó únicamente 6,413.66 ha (año 2017) a nivel nacional.

En cuanto al aumento del área cultivada, FAO (2002) plantea que esta es una de las tres principales fuentes de crecimiento de la producción de granos básicos; sin embargo, la reducción de fuentes de agua puede condicionar dicho crecimiento.

Carrasco (2016) afirma que los cultivos presentan sensibilidad a la variación de: temperatura, precipitación, humedad relativa, entre otras variables; lo cual fue observado en el comportamiento de los parámetros ambientales incluidos en el presente estudio, y el respectivo efecto en la expansión o reducción del área estimada de maíz y arroz.

Al igual que la presente investigación, un estudio similar realizado por Granados-Ramírez y Longar (2008) determinó que las superficies de cultivo monitoreadas tuvieron variación debido a que los parámetros ambientales presentaron fluctuación, con énfasis en la precipitación, lo cual es confirmado por IICA (2015) cuando menciona que la variabilidad de la lluvia y la temperatura, se manifiesta principalmente en la alteración de los periodos secos y de lluvia; y según la ubicación geográfica y altitud, en algunas zonas puede registrarse más lluvia, y en otras zonas, se registra menos lluvia de lo normal.

Según el estudio realizado por Granados-Ramírez y Longar (2008) en México, al igual que en la presente investigación, se determinó que la precipitación se concentró; en general, entre los meses de mayo a octubre; siendo aprovechada la lluvia precisamente para cultivos temporales en concordancia con su ciclo agrícola.

Es importante aclarar que, aunque la temporada de lluvia inicie en mayo, en ocasiones la cantidad de lluvia distribuida en dicha temporada no es óptima para cubrir el requerimiento hídrico de los cultivos; por tanto, la precipitación temprana, tardía o la presencia prolongada de días sin lluvia puede afectar tanto el rendimiento como la obtención de la cosecha (Granados-Ramírez y Longar, 2008). Dado lo anterior, se vuelve importante que todas las instituciones públicas relacionadas con la agricultura, puedan contar con información suficiente a modo de trasladarla a los productores para tomar decisiones acerca de cuándo cultivar.

Carrasco (2016) hace énfasis en que cada cultivo tiene un rango de necesidad de temperatura y precipitación. Según los resultados obtenidos, la temperatura promedio a nivel nacional más alta fue 24.20 °C (año 2015) y la precipitación promedio acumulada más baja según el mapa obtenido mediante kriging fue de 1,473.00 mm (año 2015). Adicionalmente se obtuvo una humedad relativa de 78.02% (año 2015). En este sentido y al comparar con los requerimientos edafoclimáticos planteados por CENTA (2014), el requerimiento hídrico del maíz se encuentra entre 500 a 700 mm y una temperatura entre 20 y 27 °C. Por otra parte, 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.

Si bien es cierto, el valor más alto registrado (año 2015) en temperatura, se encuentra dentro del rango requerido por ambos cultivos, la precipitación promedio acumulada del año 2015 fue la segunda más baja del periodo de estudio según la base de datos proporcionada por el Observatorio Ambiental del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales; que dividida de forma mensual presentó un comportamiento parecido en cuanto a la cantidad de precipitación por mes para ese año, obteniendo una precipitación acumulada promedio en mayo: 170.37 mm, en junio: 196.57 mm, en julio: 167.83 mm, en agosto: 186.12 mm, en septiembre: 354.04 mm y en octubre: 375.05 mm; sin embargo, con menos lluvia que la reportada los mismos meses, en otros años. Por tal razón, el año 2015 según el MARN se alcanzó sequía con intensidad severa, según los informes de monitoreo de sequía 2015.

En comparación con los resultados nacionales mencionados en el párrafo anterior, se encuentra la distribución promedio mensual de la lluvia en los años 2013 y 2017. En el caso del año 2013, la precipitación acumulada promedio mensual estuvo distribuida de la siguiente forma mayo: 211.12 mm, junio: 337.23 mm, julio: 235.73 mm, agosto: 350.21 mm, septiembre: 282.74 mm y en octubre: 328.26 mm. En el año 2017, la lluvia acumulada promedio mensual según registros fue mayo: 260.83 mm, junio: 321.80 mm, julio: 308.00 mm, agosto: 297.59 mm, septiembre: 363.89 mm y en octubre: 204.24 mm.



Según los resultados obtenidos, en la mayoría de los casos, el aumento de la temperatura y el cambio en la cantidad de precipitación durante la época lluviosa provocó un aumento en los precios de los cultivos incluidos en la investigación. Esta afirmación concuerda con lo mencionado por el IFPRI (2009), lo cual aplica sobre todo en el caso del maíz.

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 anterior, se identifica en la investigación realizada abordando la estimación económica, en donde en el año 2015 respecto a 2014, hubo una disminución de 28.75% del área estimada de cultivo de maíz, ante la disminución de 21.69% en la precipitación y el aumento de 2.78% en la temperatura; lo que provocó una variación negativa 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 disminuyó 64.96%, ante la disminución de precipitación ya mencionada y el aumento de temperatura ya señalado, con lo que se obtuvo una estimación económica de la producción con una disminución de 66.85%.

Para el año 2017 respecto a 2016, la estimación económica de la producción de maíz disminuyó 27.80%, aunque se registró un aumento de 7.71% en el área estimada del cultivo, la temperatura disminuyó 1.51%, la humedad relativa aumentó 4.27% y la precipitación aumentó 29.09%. Por tanto, en este año, lo que ocasionó que la estimación económica decreciera, fue la disminución de 32.97% en el precio por quintal de maíz; por lo que la variación en los parámetros ambientales aparentemente no afectó significativamente en dicha estimación. En referencia al arroz, aplica la variación de temperatura, humedad relativa y precipitación mencionadas para el maíz, igualmente en 2017 comparado con 2016, la superficie cultivada estimada de arroz aumentó 91.75%, lo que posiblemente aportó para que la estimación económica de la producción registrara un aumento de 84.46%.

## Zona occidental

En cuanto al análisis de correlación es importante mencionar que para la zona occidental se contó con un total de nueve estaciones meteorológicas del MARN, obteniendo una correlación directa entre metros sobre el nivel del mar (msnm) y la precipitación acumulada con coeficientes entre 0.719 y 0.807 con significancia estadística en nivel 0.05. Por otra parte, msnm mostró correlación inversa con temperatura media 0.988 y 0.992, con significancia en nivel 0.01. Precipitación mostró correlación negativa con temperatura media, con coeficientes entre 0.726 y 0.843 con significancia en nivel 0.05, lo que podría indicar que a mayor temperatura de forma general corresponde una disminución en la precipitación, lo cual fue comprobado con los resultados obtenidos. Precipitación obtuvo correlación directa con la humedad relativa media con coeficientes entre 0.690 y 0.889 con significancia en nivel 0.05 en general.

El análisis de regresión lineal fue posible gracias a la cantidad de correlaciones identificadas entre las asociaciones identificadas entre los parámetros ambientales. En este caso, el modelo que obtuvo el  $R^2$  ajustado más alto (0.672) fue el del año 2017; lo cual coincide con la variación de la precipitación mensual de ese año que fue mínima, en comparación con los demás años. Por tanto, el conjunto de variables independientes (msnm, temperatura media y humedad relativa) es capaz de explicar el 67.2% de la variación en la precipitación de 2017.

En cuanto a la estimación económica de la producción de maíz según la variación de parámetros ambientales, dicha estimación disminuyó 33.11% en 2016 (respecto a 2015), ya que en ese año se registró un aumento de 0.27% en temperatura y una disminución de 5.91% en precipitación, obteniendo una baja de 26.38% en la superficie de ese cultivo. No se encuentra relación de lo anterior con la disminución de 9.14% en el precio por quintal de maíz.

La estimación económica de la producción de arroz registró una disminución de 84.95% en 2015 (comparado con 2014), pues en ese año se registró un aumento de 1.06% en temperatura, disminución de lluvia de 21.73%; lo cual posiblemente influyó en que el área estimada de arroz se redujera 84.09%.

## Zona norte

Según la variabilidad de los registros de la base de datos de las estaciones meteorológicas del MARN, al realizar el análisis de correlación se obtuvo únicamente una correlación inversa, entre metros sobre el nivel del mar (msnm) con la temperatura media, obteniendo coeficientes entre 0.976 y 0.994, con significancia en nivel 0.01. Lo anterior posiblemente se debe a que en la zona norte únicamente están ubicadas 6 estaciones meteorológicas.

Luego de realizar el análisis de correlación, se optó por no realizar el análisis de regresión lineal, ya que al tener una única correlación bivariada, no tendría ningún sentido ejecutar dicho análisis de regresión.

En cuanto a la estimación económica de producción de maíz, en el año 2016 en comparación con 2015, dicha estimación disminuyó 47.30%. No se encuentra relación entre la baja de la estimación y la disminución de temperatura (1.24%) y el aumento de humedad relativa (2.18%); por otra parte, la precipitación registró una disminución de 6.42%, lo cual podría tener relación con la disminución de 42.00% en la superficie estimada de maíz para 2016. Por otra parte, no se encuentra relación con la disminución de 9.14% en el precio de mayorista.

La estimación económica de la producción de arroz obtuvo una disminución de 53.24% en 2015 respecto a 2014, lo cual se debe a la disminución del área estimada de arroz para ese año (50.57%), donde posiblemente tuvo influencia el aumento de 1.06% en la temperatura, la baja de 3.63% en humedad relativa y la disminución de 18.35% en precipitación acumulada; sin embargo, no se encontró relación entre lo anterior, y la disminución de 5.39% en el precio de mayorista.

## Zona central

Al realizar el análisis de correlación para la zona central, según los registros de la base de datos del MARN, se identificaron únicamente 5 estaciones meteorológicas ubicadas en dicha zona. De este análisis se obtuvo 3 correlaciones bivariadas; sin embargo, en ninguna de las correlaciones aparece la precipitación acumulada.

La primera correlación identificada fue inversa entre metros sobre el nivel del mar (msnm) y temperatura media, con coeficientes entre 0.986 y 0.993; con significancia en nivel 0.01, lo cual indica la posibilidad que, ante un aumento en la altitud de una ubicación geográfica específica, correspondería una disminución en la temperatura. La segunda correlación identificada fue de tipo directa, entre msnm y humedad relativa, con coeficientes entre 0.892 y 0.970 en general con significancia en nivel 0.05. La tercera correlación fue inversa, entre temperatura y humedad relativa, con coeficientes entre 0.941 y 0.991 y significancia en nivel 0.01.

Dado que no se identificó ninguna correlación en donde la precipitación mostrará relación con alguno de los parámetros ambientales incluidos en esta investigación; se optó por no realizar el análisis de regresión lineal, pues no se iba a obtener ningún modelo que con el coeficiente de determinación ajustado explicara la variabilidad de la precipitación a partir de las variables introducidas al modelo.

Por otra parte, la estimación económica de la producción de maíz en el año 2016, en comparación con 2015, se redujo 31.18% mientras que el área estimada disminuyó 24.27%; sin embargo, no se identifica una relación de esa disminución con la variación de los parámetros ambientales, ya que la temperatura disminuyó 2.12%, la humedad relativa aumentó 2.80% y la precipitación aumentó 1.53%. Lo que seguramente afectó la estimación económica fue la disminución de 9.14% en el precio de mayorista por quintal de maíz.

La estimación económica de la producción de arroz en el año 2015 respecto a 2014, disminuyó 55.50% al igual que el área estimada de dicho cultivo que disminuyó 52.97%; lo cual presenta relación con el aumento de 3.25% en la temperatura media, la disminución de 4.21% en la humedad relativa y la disminución de 20.29% en la precipitación. El precio a nivel mayorista presentó una disminución, por lo cual no se observó relación con las variables antes mencionadas.

## Zona oriental

Luego de realizar el análisis de correlación en la zona oriental, se obtuvo la correlación bivariada inversa entre metros sobre el nivel del mar (msnm) y temperatura media, únicamente para el año 2015, con un coeficiente de 0.997 y una significancia en nivel 0.05; por tanto, se optó por no realizar el siguiente análisis correspondiente (de regresión lineal), al no observar correlaciones entre msnm, latitud, temperatura media y humedad relativa con la precipitación acumulada, pues lo anterior daría como resultado modelos lineales que no tendrían un coeficiente de determinación ajustado que explicara la variación de la precipitación, a partir del conjunto de variables independientes.

La estimación económica de la producción de maíz del año 2015 respecto a 2014 se redujo 76.86%, igual comportamiento tuvo el área estimada de dicho cultivo disminuyendo 80.84%; lo cual posiblemente se originó por el aumento de 3.61% en la temperatura media, la disminución de 5.36% en la humedad relativa y el decremento de 21.73% en la precipitación de ese año. Por otra parte, el precio por quintal a nivel mayorista aumentó 20.81%, lo cual pudo haber sucedido por el comportamiento de las variables ya mencionadas. En el año 2016 comparado con 2015, el área estimada del cultivo de maíz aumentó 315.14%, registrando 2.55% de disminución en la temperatura, aumento de 4.56% en la humedad relativa; sin embargo, con una disminución de 5.91% en la precipitación. El aumento de área con la disminución de precipitación puede ser explicado por la distribución mensual de la lluvia en los años 2015 y 2016. En 2015 la lluvia mensual se distribuyó según la estimación: mayo 137.37mm, junio 176.60 mm, julio 42.23 mm, agosto 83.80 mm, septiembre 483.40 y octubre 529.20. En cambio, en 2016 la lluvia mensual fue: mayo 136.30, junio 313.57 mm, julio 197.63 mm, agosto 228.67 mm, septiembre 242.80 mm y octubre 212.50 mm. Lo anterior permitió obtener un 277.21% de aumento en la estimación económica de la producción de maíz.

La estimación económica de la producción de arroz en el año 2015 comparada con 2014, se vio afectada por la variación de los parámetros ambientales (ya mencionada en el apartado del maíz), ya que disminuyó 93.79% pues el área estimada del cultivo sufrió un decremento de 93.44%. Por otra parte, no se encuentra relación entre las variaciones ya mencionadas y la disminución de 5.39% en el precio a nivel mayorista por quintal de arroz.

## 5. CONCLUSIONES

Estamos en una época donde el uso de diversas herramientas tecnológicas se está volviendo habitual en el mundo de la investigación, teniendo en cuenta lo anterior, se puede concluir que es de suma importancia la articulación de la economía, agronomía, bases de datos de parámetros ambientales y Sistemas de Información Geográfica para la generación de evidencia a través de investigaciones, para orientar la toma de decisiones de las instituciones pertinentes. En ese sentido, a partir de dicha articulación, se pueden obtener productos gráficos, estimaciones, entre otros, para una mejor comprensión de diversos fenómenos y analizarlos de forma multidisciplinar.

A partir del análisis del comportamiento de diversos parámetros ambientales tales como temperatura, humedad relativa y precipitación, se pudo estimar su efecto en la superficie agrícola y en la respectiva estimación económica. Por tanto, se concluyó que la temperatura y la humedad relativa presentan una relación inversamente proporcional. También se identificó que, en la mayoría de los años del periodo de estudio, un aumento de temperatura, implicó una disminución en la precipitación, lo que en general, propició disminución en la superficie de los cultivos estudiados, y por ende, un efecto negativo en la estimación económica de la producción.

Por otra parte, se concluye que es de suma importancia el monitoreo de parámetros ambientales realizado por el MARN, ya que dicha información es valiosa para la generación de conocimiento y poder desarrollar investigaciones que aporten al seguimiento de la actividad agrícola, estimación de superficies y de la producción de cultivos; así como brindarle información a tomadores de decisiones para trasladarla de manera oportuna a otros actores involucrados entre los cuales se pueden mencionar al MAG, CENTA, DGEA, entre otras instituciones. En ese sentido, registrando los parámetros ambientales de un lapso tiempo considerable, se podrían diseñar sistemas de alerta temprana frente a comportamientos inusuales de dichos parámetros y buscar reducir pérdidas económicas.

## 6. REFERENCIAS

- Anderson, D., Sweeney, D., Williams, T., Camm, J., y Cochran, J. (2016). *Estadística para negocios y economía* (12 ed.). México: Cengage Learning.
- Arozarena, A., Otero, I., y Ezquerro, A. (2016). *Sistemas de Captura de la Información. Fotogrametría y Teledetección*. Madrid, España: DEXTRA Editorial.
- Ballvé, R., y 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](http://www.cultivaragro.com.ar/capacitaciones/Ayudando_a_la_estimaci%C3%B3n_del_rinde_1454512461.pdf)
- Basualdo, A., Berterretche, M., y 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., y 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.
- 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](http://centa.gob.sv/docs/guias/granos%20basicos/Guia%20Centa_Arroz%202019.pdf)
- 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>
- 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/I\\_Final00-01.pdf](http://www.eeaoc.org.ar/upload/upload/I_Final00-01.pdf)
- 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/#>
- ESRI. (2018). *Portal ArcGIS Pro: Cómo funciona Kriging*. Obtenido de <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/tool-reference/3d-analyst/how-kriging-works.htm>
- 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](http://www.ucipfg.com/Repositorio/MGAP/MGAP-05/BLOQUE-ACADEMICO/Unidad-3/complementarias/GeoProcesamiento_nov_2012.pdf)
- Farrell, M., y 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., y 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](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 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](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](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., y 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., y 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](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 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](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](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., y 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](https://www.researchgate.net/publication/333149034_Estimacion_geoespacial_de_efectos_por_variacion_de_precipitacion_en_la_produccion_de_granos_basicos_El_Salvador_2013-2017)

Triola, M. (2013). *Estadística* (11 ed.). México: Pearson Educación.



