

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

## Universidad Dr. Andrés Bello

**ANÁLISIS DE CAMBIOS EN SUPERFICIE DE  
CUERPOS DE AGUA E IDENTIFICACIÓN DE  
ZONAS PROPENSAS A INUNDACIÓN MEDIANTE  
PROCESAMIENTO DE IMÁGENES DE RADAR**

**Dirección de Investigación y Proyección Social**

**2023**



**ANÁLISIS DE CAMBIOS EN SUPERFICIE DE CUERPOS DE AGUA E  
IDENTIFICACIÓN DE ZONAS PROPENSAS A INUNDACIÓN MEDIANTE  
PROCESAMIENTO DE IMÁGENES DE RADAR**

**AÑO 2023**

**DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL  
ÁREA TECNOLOGÍA**





### Fin Institucional

Hacer de la investigación el medio idóneo para el descubrimiento sistemático de nuevos conocimientos que tiendan a enriquecer la realidad científica y social en su dimensión nacional e internacional.

### Director Nacional

Roberto Hernández Rauda\*  
Correo electrónico:  
[roberto.rauda@unab.edu.sv](mailto:roberto.rauda@unab.edu.sv)

### Dirección

1a Calle Poniente y 39 Avenida Norte,  
No. 2128, Col. Flor Blanca, San Salvador.

### Contacto

Tel.: (+503) 2510-7455 y  
(+503) 2510-7429  
<https://www.unab.edu.sv/>

\* A quien debe dirigirse la correspondencia.

Cualquier reproducción total o parcial está permitida, solo deberá hacerse citando de forma correcta la fuente.

El sello editorial no se responsabiliza de los contenidos de las páginas web enlazadas o referenciadas a esta publicación.

### Información de la Publicación

#### Título:

Análisis de cambios en superficie de cuerpos de agua e identificación de zonas propensas a inundación mediante procesamiento de imágenes de radar.

#### Autores:

Samuel Alejandro Cano y Mario René Rivas Domínguez.

#### ISBN <E-Book >: 978-99961-65-57-3

ISBN: 978-99961-65-57-3



Primera Edición.

© 2023, Universidad Doctor Andrés Bello.

**Código Institucional:** 4CR/INV/H/2023.

**Área de Investigación:** Tecnología.

**Línea de Investigación:** Establecimiento de bases para el ordenamiento territorial y reducción de la vulnerabilidad ambiental ante los efectos del cambio climático y los fenómenos naturales.

#### Para su citación:

Cano, S.A. & Rivas Domínguez, M. R, (2023). *Análisis de cambios en superficie de cuerpos de agua mediante procesamiento de imágenes de radar*. [Monografía]. Universidad Dr. Andrés Bello

#### URL:

[https://www.unab.edu.sv/books/?wbg\\_title\\_s=&wbg\\_category\\_s=Tecnolog%C3%ADa&wbg\\_published\\_on\\_s=2024](https://www.unab.edu.sv/books/?wbg_title_s=&wbg_category_s=Tecnolog%C3%ADa&wbg_published_on_s=2024)

## Contenido

PRÓLOGO .....	i
RESUMEN .....	iii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MARCO TEÓRICO .....	2
2.1 Sistema de Información .....	2
2.2 Sistema de Información Geográfica (SIG) .....	2
2.3 Teledetección.....	2
2.4 Tipo de sistemas de teledetección .....	3
2.5 Cuerpo de agua .....	3
2.6 Sitio Ramsar.....	3
2.7 Inundación .....	3
3. MÉTODOS.....	4
3.1 Metodología de Investigación.....	4
3.2 Localización y descripción de la zona de estudio.....	4
3.3 Descripción de recursos tecnológicos.....	9
3.3.1 Recursos de Hardware. ....	9
3.3.2 Recursos de Software.....	9
3.3.3 Datos. ....	11
3.4 Técnicas y procedimientos.....	12
4. RESULTADOS .....	21
4.1 Delimitación de cuerpos de agua.....	22
4.1.1 Zona oriental.....	22
4.1.2 Embalse Cerrón Grande .....	95
4.2 Análisis de variación de superficie de agua multianual .....	139
4.3 Delimitación de zonas de inundación.....	147
4.3.1 Datos estadísticos de los fenómenos de lluvia Ciudad de San Miguel	147
4.3.2 Cartografía digital de zonas de inundación en San Miguel .....	154
4.3.3. Mapa histórico de zonas de inundación de San Miguel.....	157
5. DISCUSIÓN.....	159
6. CONCLUSIONES .....	163
7. REFERENCIAS .....	164
8. ANEXOS.....	167



## Índice de figuras.

<b>Figura 1.</b> Laguna de Olomega .....	5
<b>Figura 2.</b> Laguna El Jocotal.....	6
<b>Figura 3.</b> Laguna Aramuaca .....	7
<b>Figura 4.</b> Embalse Cerrón Grande.....	8
<b>Figura 5.</b> Diagrama de flujo procesamiento de datos de lluvia .....	14
<b>Figura 6.</b> Diagrama de flujo para procesamiento de imágenes de radar Sentinel 1 .....	16
<b>Figura 7.</b> Diagrama de flujo para elaboración de mapas de lluvia .....	18
<b>Figura 8.</b> Diagrama de flujo para identificación de zonas inundables.....	20
<b>Figura 9.</b> Cantidad de lluvia y periodos secos en zona oriental, marzo 2018.....	22
<b>Figura 10.</b> Cantidad de lluvia y periodos secos en zona oriental, octubre 2018..	23
<b>Figura 11.</b> Cantidad de lluvia y periodos secos en zona oriental, noviembre 2018 .....	24
<b>Figura 12.</b> Mapa de delimitación de superficie de agua transición época seca a lluviosa 2018. Laguna Aramuaca .....	25
<b>Figura 13.</b> Mapa de delimitación de superficie de agua época lluviosa 2018. Laguna de Aramuaca .....	26
<b>Figura 14.</b> Mapa de delimitación de superficie de agua transición época lluviosa a seca 2018. Laguna de Aramuaca.....	27
<b>Figura 15.</b> Mapa de delimitación de superficie de agua transición época seca a lluviosa,2018, Laguna de Olomega .....	28
<b>Figura 16.</b> Mapa de delimitación de superficie de agua en época lluviosa. 2018. Laguna Olomega.....	29
<b>Figura 17.</b> Mapa de delimitación de superficie de agua transición de época lluviosa a seca. 2018. Laguna de Olomega .....	30
<b>Figura 18.</b> Mapa de delimitación de superficie de agua transición época seca a lluviosa. 2018. Laguna El Jocotal.....	31
<b>Figura 19.</b> Mapa de delimitación de superficie de agua en época lluviosa. 2018. Laguna El Jocotal.....	32
<b>Figura 20.</b> Mapa de delimitación de superficie de agua en época lluviosa. 2018. Laguna El Jocotal.....	33
<b>Figura 21.</b> Lluvia acumulada. Por cada estación meteorológica de la Zona Oriental. 2018.....	34
<b>Figura 22.</b> Lluvia acumulada para todas las estaciones de la zona oriental. 2018 .....	35
<b>Figura 23.</b> Cantidad de lluvia y periodos secos en zona oriental. Abril 2019.....	36
<b>Figura 24.</b> Cantidad de lluvia y periodos secos en zona oriental, octubre 2019..	37
<b>Figura 25.</b> Cantidad de lluvia y periodos secos en zona oriental, noviembre 2019 .....	38
<b>Figura 26.</b> Mapa de delimitación de superficie de agua transición época seca a lluviosa 2019, Laguna de Aramuaca .....	39

<b>Figura 27.</b> Mapa de delimitación de superficie de agua época lluviosa, 2019, Laguna de Aramuaca .....	40
<b>Figura 28.</b> Mapa de delimitación de superficie de agua transición época lluviosa a seca, 2019, Laguna de Aramuaca.....	41
<b>Figura 29.</b> Mapa de delimitación de superficie de agua transición época seca a lluviosa, 2019, Laguna de Olomega .....	42
<b>Figura 30.</b> Mapa de delimitación de superficie de agua época lluviosa, 2019. Laguna de Olomega.....	43
<b>Figura 31.</b> Mapa de delimitación de superficie de agua transición época lluviosa a seca, 2019. Laguna de Olomega .....	44
<b>Figura 32.</b> Mapa de delimitación de superficie de agua transición época seca a lluviosa, 2019. Laguna El Jocotal.....	45
<b>Figura 33.</b> Mapa de delimitación de superficie de agua época lluviosa, 2019, Laguna El Jocotal.....	46
<b>Figura 34.</b> Mapa de delimitación de superficie de agua transición época lluviosa a seca, 2019, Laguna El Jocotal .....	47
<b>Figura 35.</b> Lluvia acumulada. Por cada estación meteorológica de la Zona Oriental, 2019.....	48
<b>Figura 36.</b> Lluvia acumulada de todas las estaciones de la Zona Oriental, 2019	49
<b>Figura 37.</b> Cantidad de lluvia y periodos secos en zona oriental, Abril 2020.....	50
<b>Figura 38.</b> Cantidad de lluvia y periodos secos en zona oriental, octubre 2020..	51
<b>Figura 39.</b> Cantidad de lluvia y periodos secos en zona oriental, noviembre 2020 .....	52
<b>Figura 40.</b> Mapa de delimitación de superficie de agua transición época seca a lluviosa, 2020, Laguna de Aramuaca .....	53
<b>Figura 41.</b> Mapa de delimitación de superficie de agua época lluviosa, 2020, Laguna de Aramuaca .....	54
<b>Figura 42.</b> Mapa de delimitación de superficie de agua transición época lluviosa a seca, 2020, Laguna de Aramuaca.....	55
<b>Figura 43.</b> Mapa de delimitación de superficie de agua transición época seca a lluviosa, 2020, Laguna de Olomega .....	56
<b>Figura 44.</b> Mapa de delimitación de superficie de agua época lluviosa, 2020, Laguna de Olomega.....	57
<b>Figura 45.</b> Mapa de delimitación de superficie de agua transición época lluviosa a seca, 2020, Laguna de Olomega .....	58
<b>Figura 46.</b> Mapa de delimitación de superficie de agua transición época seca a lluviosa, 2020, Laguna El Jocotal.....	59
<b>Figura 47.</b> Mapa de delimitación de superficie de agua época lluviosa, 2020, Laguna El Jocotal.....	60
<b>Figura 48.</b> Mapa de delimitación de superficie de agua transición época lluviosa a seca, 2020, Laguna El Jocotal .....	61

<b>Figura 49.</b> Lluvia acumulada. Por cada estación meteorológica de la Zona Oriental, 2020.....	62
<b>Figura 50.</b> Lluvia acumulada de todas las estaciones de la Zona Oriental, 2020	63
<b>Figura 51.</b> Periodos secos en la zona oriental, 2020.....	64
<b>Figura 52.</b> Cantidad de lluvia y periodos secos en zona oriental, marzo 2021 ....	65
<b>Figura 53.</b> Cantidad de lluvia y periodos secos en zona oriental, septiembre 2021 .....	66
<b>Figura 54.</b> Cantidad de lluvia y periodos secos en zona oriental, noviembre 2021 .....	67
<b>Figura 55 .</b> Mapa de delimitación de superficie de agua transición época seca a lluviosa, 2021, Laguna Aramuaca .....	68
<b>Figura 56.</b> Mapa de delimitación de superficie de agua época lluviosa, 2021, Laguna de Aramuaca .....	69
<b>Figura 57.</b> Mapa de delimitación de superficie de agua transición época lluviosa a seca, 2020, Laguna de Aramuaca.....	70
<b>Figura 58.</b> Mapa de delimitación de superficie de agua transición época seca a lluviosa, 2021, Laguna de Olomega .....	71
<b>Figura 59.</b> Mapa de delimitación de superficie de agua época lluviosa, 2021, Laguna de Olomega.....	72
<b>Figura 60.</b> Mapa de delimitación de superficie de agua transición época lluviosa a seca, 2021, Laguna de Olomega .....	73
<b>Figura 61.</b> Mapa de delimitación de superficie de agua transición época seca a lluviosa, 2021, Laguna El Jocotal .....	74
<b>Figura 62.</b> Mapa de delimitación de superficie de agua época lluviosa, 2021, El Jocotal.....	75
<b>Figura 63.</b> Mapa de delimitación de superficie de agua transición época lluviosa a seca, 2021, Laguna El Jocotal .....	76
<b>Figura 64.</b> Lluvia acumulada. Por cada estación meteorológica de la Zona Oriental, 2021 .....	77
<b>Figura 65.</b> Lluvia acumulada de todas las estaciones de la Zona Oriental, 2021	78
<b>Figura 66.</b> Periodos secos en la zona oriental, 2021 .....	79
<b>Figura 67.</b> Cantidad de lluvia y periodos secos en zona oriental, marzo, 2022 ...	80
<b>Figura 68.</b> Cantidad de lluvia y periodos secos en zona oriental, octubre 2022 ..	81
<b>Figura 69.</b> Cantidad de lluvia y periodos secos en zona oriental, noviembre 2022 .....	82
<b>Figura 70.</b> Mapa de delimitación de superficie de agua transición época seca a lluviosa, 2022, Laguna de Aramuaca .....	83
<b>Figura 71.</b> Mapa de delimitación de superficie de agua época lluviosa, 2022, Laguna de Aramuaca .....	84
<b>Figura 72.</b> Mapa de delimitación de superficie de agua transición época lluviosa a seca, 2022, Laguna de Aramuaca.....	85

<b>Figura 73.</b> Mapa de delimitación de superficie de agua transición época seca a lluviosa, 2022, Laguna de Olomega .....	86
<b>Figura 74.</b> Mapa de delimitación de superficie de agua época lluviosa, 2022, Laguna de Olomega .....	87
<b>Figura 75.</b> Mapa de delimitación de superficie de agua transición época lluviosa a seca, 2022, Laguna de Olomega .....	88
<b>Figura 76.</b> Mapa de delimitación de superficie de agua transición época seca a lluviosa, 2022, Laguna El Jocotal .....	89
<b>Figura 77.</b> Mapa de delimitación de superficie de agua época lluviosa, 2022, Laguna El Jocotal.....	90
<b>Figura 78.</b> Mapa de delimitación de superficie de agua transición época lluviosa a seca, 2022, Laguna El Jocotal .....	91
<b>Figura 79.</b> Lluvia acumulada. Por cada estación meteorológica de la Zona Oriental, 2022.....	92
<b>Figura 80.</b> Lluvia acumulada de todas las estaciones de la Zona Oriental, 2022 .	93
<b>Figura 81.</b> Periodos secos en la zona oriental, 2022.....	94
<b>Figura 82.</b> Cantidad de lluvia y periodos secos en zona Embalse Cerrón Grande, abril, 2018.....	95
<b>Figura 83.</b> Cantidad de lluvia y periodos secos en zona Embalse Cerrón Grande, septiembre, 2018.....	96
<b>Figura 84.</b> Cantidad de lluvia y periodos secos en zona Embalse Cerrón Grande, octubre, 2018 .....	97
<b>Figura 85.</b> Mapa de delimitación de superficie de agua transición época seca a lluviosa, 2018, Embalse Cerrón Grande.....	98
<b>Figura 86.</b> Mapa de delimitación de superficie de agua época lluviosa, 2018, Embalse Cerrón Grande .....	99
<b>Figura 87.</b> Mapa de delimitación de superficie de agua transición época lluviosa a seca, 2018, Embalse Cerrón Grande .....	100
<b>Figura 88.</b> Lluvia acumulada. Por cada estación meteorológica de la Zona Embalse Cerrón Grande, 2018.....	101
<b>Figura 89.</b> Lluvia acumulada de todas las estaciones de la Zona Embalse Cerrón Grande, 2018 .....	102
<b>Figura 90.</b> Periodos secos en la zona Embalse Cerrón Grande, 2018.....	103
<b>Figura 91.</b> Cantidad de lluvia y periodos secos en zona Embalse Cerrón Grande, abril, 2019.....	104
<b>Figura 92.</b> Cantidad de lluvia y periodos secos en zona Embalse Cerrón Grande, septiembre, 2019.....	105
<b>Figura 93.</b> Cantidad de lluvia y periodos secos en zona Embalse Cerrón Grande, octubre, 2019 .....	106
<b>Figura 94.</b> Mapa de delimitación de superficie de agua transición época seca a lluviosa, 2019, Embalse Cerrón Grande.....	107

<b>Figura 95.</b> Mapa de delimitación de superficie de agua época lluviosa, 2019, Embalse Cerrón Grande .....	108
<b>Figura 96.</b> Mapa de delimitación de superficie de agua transición época lluviosa a seca, 2019, Embalse Cerrón Grande .....	109
<b>Figura 97.</b> Lluvia acumulada. Por cada estación meteorológica de la Zona Embalse Cerrón Grande, 2019.....	110
<b>Figura 98.</b> Lluvia acumulada de todas las estaciones de la Zona del Embalse Cerrón Grande, 2019 .....	111
<b>Figura 99.</b> Periodos secos en la zona del Embalse Cerrón Grande, 2019 .....	112
<b>Figura 100.</b> Cantidad de lluvia y periodos secos en zona Embalse Cerrón Grande, mayo 2020.....	113
<b>Figura 101.</b> Cantidad de lluvia y periodos secos en zona Embalse Cerrón Grande, octubre, 2020 .....	114
<b>Figura 102.</b> Mapa de delimitación de superficie de agua transición época seca a lluviosa, 2020, Embalse Cerrón Grande.....	115
<b>Figura 103.</b> Mapa de delimitación de superficie de agua época lluviosa, 2020, Embalse Cerrón Grande .....	116
<b>Figura 104.</b> Mapa de delimitación de superficie de agua transición época lluviosa a seca, 2020, Embalse Cerrón Grande .....	117
<b>Figura 105.</b> Lluvia acumulada. Por cada estación meteorológica de la Zona del Embalse Cerrón Grande, 2020.....	118
<b>Figura 106.</b> Lluvia acumulada de todas las estaciones de la Zona del Embalse Cerrón Grande .....	119
<b>Figura 107.</b> Periodos secos en la zona del Embalse Cerrón Grande .....	120
<b>Figura 108.</b> Cantidad de lluvia y periodos secos en zona Embalse Cerrón Grande, abril 2021.....	121
<b>Figura 109.</b> Cantidad de lluvia y periodos secos en zona Embalse Cerrón Grande, junio, 2021.....	122
<b>Figura 110.</b> Cantidad de lluvia y periodos secos en zona Embalse Cerrón Grande, octubre 2021 .....	123
<b>Figura 111.</b> Mapa de delimitación de superficie de agua transición época seca a lluviosa, 2021, Embalse Cerrón Grande.....	124
<b>Figura 112.</b> Mapa de delimitación de superficie de agua época lluviosa, 2021, Embalse Cerrón Grande .....	125
<b>Figura 113.</b> Mapa de delimitación de superficie de agua transición época lluviosa a seca, 2021, Embalse Cerrón Grande .....	126
<b>Figura 114.</b> Lluvia acumulada. Por cada estación meteorológica de la Zona del Embalse Cerrón Grande, 2021.....	127
<b>Figura 115.</b> Lluvia acumulada de todas las estaciones de la Zona del Embalse Cerrón Grande .....	128
<b>Figura 116.</b> Periodos secos en la zona del Embalse Cerrón Grande, 2021 .....	129

<b>Figura 117.</b> Cantidad de lluvia y periodos secos en zona Embalse Cerrón Grande, mayo, 2022.....	130
<b>Figura 118.</b> Cantidad de lluvia y periodos secos en zona Embalse Cerrón Grande, agosto, 2022.....	131
<b>Figura 119.</b> Cantidad de lluvia y periodos secos en zona Embalse Cerrón Grande, octubre 2022 .....	132
<b>Figura 120.</b> Mapa de delimitación de superficie de agua transición época seca a lluviosa , 2022, Embalse Cerrón Grande.....	133
<b>Figura 121.</b> Mapa de delimitación de superficie de agua época lluviosa, 2022, Embalse Cerrón Grande .....	134
<b>Figura 122.</b> Mapa de delimitación de superficie de agua transición época lluviosa a seca, 2022, Embalse Cerrón Grande .....	135
<b>Figura 123.</b> Lluvia acumulada. Por cada estación meteorológica de la Zona del Embalse Cerrón Grande, 2022.....	136
<b>Figura 124.</b> Lluvia acumulada de todas las estaciones de la Zona del Embalse Cerrón Grande, 2022 .....	137
<b>Figura 125.</b> Periodos secos en la zona del Embalse Cerrón Grande, 2022 .....	138
<b>Figura 126.</b> Datos estadísticos de fenómeno Tormenta Julia.....	147
<b>Figura 127.</b> Datos estadísticos de fenómeno Tormenta Amanda.....	148
<b>Figura 128.</b> Datos estadísticos de fenómeno de lluvias en julio 2019 .....	149
<b>Figura 129.</b> Datos estadísticos de fenómeno de lluvia en mayo 2019.....	150
<b>Figura 130.</b> .....	151
<b>Figura 131.</b> Datos estadísticos de fenómeno de lluvias en octubre 2018.....	152
<b>Figura 132.</b> Datos estadísticos de fenómeno de lluvias en agosto 2018.....	153
<b>Figura 133.</b> Datos estadísticos de fenómeno de lluvias en septiembre 2017....	153
<b>Figura 134.</b> Mapa de zonas de inundación fenómeno julio 2019.....	154
<b>Figura 135.</b> Mapa de zonas de inundación fenómeno de octubre 2018 .....	155
<b>Figura 136.</b> Mapa de zonas de inundación fenómeno de septiembre 2018 .....	156
<b>Figura 137.</b> Mapa de zonas de inundación fenómeno, septiembre 2017 .....	157
<b>Figura 138.</b> Portada de mapa web .....	158
<b>Figura 139.</b> Detalle de mapa web con zonas de inundación. ....	158

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1.</b> Lluvia acumulada en zona oriental. 2018.....	34
<b>Tabla 2.</b> Periodos de sequía entre abril a noviembre 2018 por estación meteorológica.....	35
<b>Tabla 3.</b> Lluvia acumulada en Zona Oriental. 2019.....	48
<b>Tabla 4.</b> Periodos de sequía entre abril y noviembre 2019 por estación meteorológica.....	49
<b>Tabla 5.</b> Lluvia acumulada en Zona Oriental. 2020.....	62
<b>Tabla 6.</b> Periodos de sequía entre abril y noviembre 2020 por estación meteorológica.....	63
<b>Tabla 7.</b> Lluvia acumulada en Zona Oriental. 2021.....	77
<b>Tabla 8.</b> Periodos de sequía entre abril y noviembre 2021 por estación meteorológica.....	78
<b>Tabla 9.</b> Lluvia acumulada en Zona Oriental. 2022.....	92
<b>Tabla 10.</b> Periodos de sequía entre abril y octubre de 2022 por estación meteorológica.....	93
<b>Tabla 11.</b> Lluvia acumulada en zona Embalse Cerrón Grande. 2018.....	101
<b>Tabla 12.</b> Periodos de sequía entre abril y octubre de 2018 por estación meteorológica.....	102
<b>Tabla 13.</b> Lluvia acumulada en zona Embalse Cerrón Grande. 2019.....	110
<b>Tabla 14.</b> Periodos de sequía entre abril y octubre 2019 por estación meteorológica.....	111
<b>Tabla 15.</b> Lluvia acumulada en Zona Embalse Cerrón Grande. 2020 .....	118
<b>Tabla 16.</b> Periodos de sequía entre abril y octubre 2020 por estación meteorológica.....	119
<b>Tabla 17.</b> Lluvia acumulada en Zona Embalse Cerrón Grande. 2021 .....	127
<b>Tabla 18.</b> Periodos de sequía entre abril y octubre 2021 por estación meteorológica.....	128
<b>Tabla 19.</b> Lluvia acumulada en zona Embalse Cerrón Grande. 2022.....	136
<b>Tabla 20.</b> Periodos de sequía entre abril y octubre 2022por estación meteorológica.....	137
<b>Tabla 21.</b> Resumen de resultados Laguna de Aramuaca .....	139
<b>Tabla 22.</b> Resumen de resultados Laguna de Olomega.....	141
<b>Tabla 23.</b> Resumen de resultados Laguna El Jocotal.....	143
<b>Tabla 24.</b> Resumen de resultados Embalse Cerrón Grande.....	145



## **PRÓLOGO**

El presente estudio fue desarrollado por investigadores del Área de Tecnología de la Unidad de investigación de la Universidad Dr. Andrés Bello (UNAB), se centra en la relevancia que tiene la aplicación de diferentes técnicas y procedimientos de teledetección específicamente el procesamiento y análisis de imágenes de radar y de extracción de datos de forma automática a través del uso de diferentes herramientas tecnológicas; por ello los resultados de la presente investigación están enmarcados en dos enfoques: el primero estimar la variación de superficie de cuatro cuerpos de agua: Laguna Aramuaca, Laguna de Olomega, Laguna El Jocotal todas ellas ubicada en la zona oriental de El Salvador y el Embalse Cerrón Grande ubicado en la zona paracentral; y el segundo trata sobre la identificación de zonas susceptibles a inundación en la Ciudad de San Miguel.

Resultados que la UNAB pone a disposición; considerando la información contenida en este informe puede ser de mucha utilidad para instituciones que dan respuesta a la población cuando ocurren fenómenos de este tipo; así también puede servir de insumo para el desarrollo de futuras investigaciones.

**MBA. Iveth Escobar de Umanzor**  
**Rectora**  
**Universidad Doctor Andrés Bello**



## RESUMEN

El presente estudio tiene por objetivo aplicar técnicas de teledetección y *web scraping* para la identificación, delimitación, monitoreo de área de cuerpos de agua, e identificación de zonas susceptibles a inundaciones en el área Metropolitana de San Miguel y la ribera del embalse en Chalatenango; así también contribuir a la gestión integral del riesgo de inundación y la planificación urbana sostenible en estas regiones, mediante la generación de información geoespacial actualizada y precisa; para el desarrollo de esta investigación se adoptó como metodología la investigación dirigida considerando el tipo de estudio el cual da respuesta a una problemática en particular.

Los principales resultados fueron: la cuantificación y variación del área de cuatro cuerpos de agua (Aramuaca, El Jocotal y Laguna de Olomega en el oriente del país y el Embalse en Chalatenango) en un periodo de evaluación de cinco años; esto permitió conocer el tiempo y la cantidad de afectación que estos cuerpos de agua tienen debido a la afloración de ninfa y especies similares; también se identificaron la zonas susceptibles de inundación en la ciudad de San Miguel tomando como referencia el análisis de eventos de inundación registrados mediante técnicas de teledetección específicamente imágenes de radar.

Palabras claves: Teledetección, *WebScraping*, imágenes radar Sentinel.



## 1. INTRODUCCIÓN

La presente investigación trata sobre el análisis de cambios en superficie de cuerpos de agua mediante procesamiento de imágenes de radar; para ello fue fundamental recurrir a la utilización de diferentes herramientas de software relativas a la teledetección y a su vez tipificadas como sistemas de información geográfica.

Para poder desarrollar este estudio fue importante dar cobertura al objetivo inicialmente planteado respecto a aplicar técnicas de teledetección y web scraping para la identificación, delimitación, monitoreo de cuerpos de agua, y evaluación de zonas susceptibles a inundaciones en el área Metropolitana de San Miguel y la zona del embalse Cerrón Grande, con el propósito de contribuir a la gestión integral del riesgo de inundación y la planificación urbana sostenible en estas regiones, mediante la generación de información geoespacial actualizada y precisa.

La importancia de esta investigación radica en definir mecanismos de elaboración de cartografía digital alusiva a la temática de variación de la superficie de cuerpos de agua; así como identificación de zonas de inundación; cartografía que pueda ser de utilidad para técnicos de instituciones vinculadas al trabajo comunitario por ejemplo Comisiones de Protección Civil.

El presente informe está estructurado por secciones en la primera se presenta una colección de conceptos relativos al tema de estudio tales como teledetección, tipos de imágenes, entre otros; esto con el propósito contextualizar al lector.

La sección dos se abordan los elementos que dan sustento a la investigación en ella se describe la metodología de investigación implementada, así como los recursos tecnológicos (hardware y software) empleados; finaliza con una serie de diagramas de flujo a fin de dejar documentados los procedimientos utilizados para la obtención de resultados.

En la tercera sección se muestra cartografía digital y gráficos relativos a la variación de superficie de cuatro cuerpos de agua para un periodo de cinco años; así también

la secuencia de diferentes fenómenos de inundación acontecidos en San Miguel lo cual terminó por mostrar las zonas susceptibles a inundación con base a la repitencia de la afectación de dichas áreas.

Finalmente, se presenta una discusión que enfatiza en contrastar la información obtenida con otros estudios similares; lo cual fue importante porque permitió de alguna manera validar los resultados.

## **2. MARCO TEÓRICO**

A continuación, se presentan una serie de conceptos relacionados con el presente estudio.

### **2.1 Sistema de Información**

Se define como “un conjunto de componentes relacionados que recolectan (o recuperan), procesan, almacenan y distribuyen información”. Ortega Pérez, E. y Martín Ramos, B. (2016 p.16).

### **2.2 Sistema de Información Geográfica (SIG)**

De acuerdo con Burrough citado por Bosque González, I., Fernández Freire, C., Martín - Forero Morente, L. y Pérez Asencio, E. (2012). Un SIG es “un conjunto de herramientas potentes para recoger, almacenar, recuperar, transformar y mostrar datos espaciales del mundo real para unos propósitos particulares” (1988).

### **2.3 Teledetección**

Conjunto de técnicas desarrolladas desde diferentes disciplinas y ciencias para obtener información de áreas extensas y a distancia de la Tierra. Para obtener esta información se basa en la propagación de ondas (casi siempre electromagnéticas, pero también acústicas) que interactúan con los objetos que se quieren estudiar: la teledetección consiste en medir la energía transportada por esas ondas e interpretar los cambios que han sufrido tras su interacción con el objeto, para así conocer el estado de éste. (Rodríguez Pérez, D. Domínguez Gómez, J. A. y Sánchez Carnero, N., 2015, p.15).

## **2.4 Tipo de sistemas de teledetección**

### **Sistemas ópticos**

Son conocidos como sistemas de sensores pasivos, y se caracterizan por ser “sistemas que detectan radiación natural emitida y/o reflejada por el objeto o área circundante que está siendo observada. La luz solar reflejada es uno de los tipos de radiación más comunes medidos por esta clase de teledetección.” (Fernández y Corbella, s.f. p.1).

### **Sistema de radar**

Sistemas que emiten energía para poder escanear objetos y áreas. Un radar es un ejemplo de tele detector activo, el cual mide el tiempo que tarda una emisión en ir y volver de un punto, estableciendo así la localización, altura, velocidad y dirección de un objeto determinado. (Fernández y Corbella, s.f. p.1).

## **2.5 Cuerpo de agua**

De acuerdo con el sitio Agua.org (s.f.) un cuerpo de agua es:

Cualquier extensión que se encuentran en la superficie terrestre (ríos y lagos) o en el subsuelo (acuíferos, ríos subterráneos); tanto en estado líquido, como sólido (glaciares, casquetes polares); tanto naturales como artificiales (embalses) y pueden ser de agua salada o dulce.

## **2.6 Sitio Ramsar**

Según el sitio Iberdrola México (2020) los sitios Ramsar: “son humedales protegidos por ser considerados cunas de diversidad biológica, es decir, son de los entornos más productivos del mundo y refugio de varias especies de flora y fauna”.

## **2.7 Inundación**

Zarza (s.f.) define una inundación como:

La ocupación por parte del agua de zonas o regiones que habitualmente se encuentran secas, como consecuencia de la aportación inusual y más o menos repentina de una cantidad de agua superior a la que puede drenar el propio cauce del río.

## **3. MÉTODOS**

### **3.1 Metodología de Investigación**

Para la realización del presente estudio se utilizó como metodología la investigación dirigida, la cual, según Mora, (2005) se enfoca en dar respuesta a una problemática específica, para el caso, la falta de herramientas tecnológicas para identificar zonas inundables en caso de ocurrencia de un fenómeno de este tipo; así también identificar periodos de mayor afectación por afloramiento de vegetación en cuerpos de agua lo cual genera variación en la superficie lo cual puede afectar a personas cuya fuente de trabajo está en dichos lugares.

### **3.2 Localización y descripción de la zona de estudio.**

A continuación, se presenta un resumen de la información concerniente a los cuerpos de agua para los cuales se ha hecho el análisis de variación de superficie.

#### **Laguna de Olomega**

La Laguna de Olomega consta de un espejo de agua, el mayor cuerpo de agua dulce natural del este de El Salvador, y dos pequeños islotes, además de un bosque de manglar, pantanos herbáceos y remanentes de bosque seco tropical. Los ecosistemas del sitio sustentan una comunidad diversa de especies, con más 100 especies de flora registradas, incluyendo 37 especies de vegetación acuática y especies vulnerables como el cedro (*Cedrela odorata*), la caoba (*Swietenia macrophylla*) y el mangle dulce (*Bravaisia integerrima*) catalogada como En Peligro de extinción a nivel nacional. En cuanto a fauna, se han registrado 127 especies de aves, 56 mamíferos, 17 reptiles, 13 peces y 5 anfibios incluyendo especies catalogadas como vulnerables como el cocodrilo americano (*Crocodylus acutus*) y en Peligro como el mono-araña centroamericano (*Ateles geoffroyi*) y la rana de quebrada (*Ptychohyala salvadorensis*). El sitio es fundamental para las poblaciones aledañas que dependen de él para alimento además de control de inundaciones y purificación del agua. Entre las principales amenazas al sitio se encuentran la contaminación de sus aguas, pesca excesiva y cambio de uso de suelo por la

presencia de ganado, deforestación e incendios forestales. (Servicio de Información sobre Sitios Ramsar, 2021).

**Figura 1.**  
*Laguna de Olomega*



*Nota:* Imagen tomada con dron Mavic 2 Pro.

### **Laguna El Jocotal**

Área Natural Protegida Laguna del Jocotal, es un humedal continental formado por dos lagunas permanentes de agua dulce, Laguna del Jocotal y Laguna de San Juan. El sitio es un reservorio de biodiversidad en el que se encuentran 151 especies vegetales como caoba (*Swietenia macrophylla*), el cedro (*Cedrela odorata*) y el mangle de agua dulce (*Bravaisia integerrima*) consideradas como en peligro de extinción a nivel nacional. El sitio además sustenta a cientos de especies de fauna incluyendo 21 especies de peces incluyendo especies endémicas como el róbalo prieto (*Centropomus nigrescens*), 252 especies de aves, 43 mamíferos, 13 anfibios y 33 reptiles.

Entre las especies de fauna presentes en el sitio se encuentran especies amenazadas incluidas en la lista roja de UICN como el mono araña centroamericano (*Ateles geoffroyi*), el loro nuca amarilla (*Amazona auropalliata*) y el cocodrilo americano (*Crocodylus acutus*). El sitio es uno de los mejores ejemplos de ecosistemas inundables de agua dulce en el Pacífico centroamericano y provee diferentes servicios ecosistémicos incluyendo el control de inundaciones y purificación de aguas, así como fuente de alimentación para las comunidades locales. Entre las principales amenazas al sitio se encuentran la reducción del nivel freático de la laguna de Jocotal por un manejo inapropiado, contaminación por desechos y sedimentos, así como la pesca, caza y ganadería descontrolada. (Servicio de Información sobre Sitios Ramsar, 2021).

**Figura 2.**  
*Laguna El Jocotal*



*Nota:* Imagen tomada con dron Mavic 2 Pro.

## Laguna Aramuaca

La descripción de la laguna de Aramuaca fue tomada de un artículo publicado por Maqueda (s.f.)

El volcán laguna de Aramuaca está ubicado a 10 Km al SE de la ciudad de San Miguel en el SE de El Salvador. El volcán consiste en un mar con depósitos piroclástico asociados.

Según el IGN (Instituto Geográfico Nacional, 1985) el nombre oficial de este cuerpo de agua es Laguna de Aramuaca, está situada entre los cantones Miraflores y Cerro Bonito a 9.7 Km al sudeste de la ciudad de San Miguel, dentro del departamento del mismo nombre, en la zona oriental de El Salvador. Por sus dimensiones de acuerdo con Glosario de la Metodología del Inventario PREPAC (2004). Se le clasifica como una laguneta.

**Figura 3.**  
*Laguna Aramuaca*



*Nota:* Imagen tomada con dron Mavic 2 Pro.

## Embalse Cerrón Grande

Embalse Cerrón Grande. Chalatenango, San Salvador, Cuscatlán, Cabañas; 60.698 hectáreas; 14° 03' N 89° 04' W. Embalse de agua artificial que constituye el cuerpo de agua dulce más grande del país. El embalse proporciona productos y servicios ambientales relevantes, como producción pesquera y generación de energía hidroeléctrica, filtración de agua y control de inundaciones. El sitio sirve como lugar de refugio, lugar de reproducción y descanso para varios miles de aves acuáticas, tanto residentes como migratorias, y alberga las poblaciones de patos más grandes del país. Además de tener la mayor diversidad de peces de agua dulce de El Salvador, alberga 12 de las 14 especies de peces nativos conocidas en el país. Otras especies amenazadas en el sitio incluyen la paca (Agouti paca), el puma (*Puma concolor*), el ocelote (*Leopardus pardalis*) y el venado colorado (*Mazama americana*). La contaminación del agua y la eutrofización, la deforestación, la erosión y la presencia de jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) constituyen las mayores amenazas para el humedal. (Servicio de Información sobre Sitios Ramsar, 2021).

**Figura 4.**  
*Embalse Cerrón Grande*



*Nota:* Imagen tomada con dron Mavic 2 Pro.

### **3.3 Descripción de recursos tecnológicos**

Para el desarrollo del presente estudio se utilizaron los siguientes recursos.

#### **3.3.1 Recursos de Hardware.**

##### **DJI Mavic 2 Pro**

Especificaciones:

Batería: 31 minutos (3.950 mAh)

Resolución de vídeo: 4K 30 fps |

Cámara: 20 MP

Dimensiones: 214x91x84 mm (plegado) |

Peso: 907 gr

Control remoto: Dedicado con App

Velocidad: 72 km/h

Rotores: 4 (2 hélices por rotor)

Rango de alcance máx.: 8 km

Interior: No

(fototrending.com 2024)

El uso de este dispositivo fue para documentar con fotografía áreas los diferentes cuerpos de agua que incluye el estudio.

#### **3.3.2 Recursos de Software.**

##### **ArcGIS Pro**

Es una aplicación SIG de escritorio profesional con múltiples funcionalidades entre las cuales se puede mencionar: explorar, visualizar y analizar datos, crear mapas 2D y escenas 3D, además permite compartir o compartir cartografía en ambiente web ya sea en el portal de ArcGIS Online o de ArcGIS Enterprise ESRI (s.f.); el uso de esta herramienta en este estudio fue para la creación de cartografía digital de lluvia.

## **SNAP (Sentinel Application Platform)**

“Es una herramienta de software libre que usa una arquitectura común para todas las cajas de herramientas de Sentinel. Cuenta con una interfaz gráfica bastante amigable, que permite realizar diversos análisis sobre los productos de Copernicus”.(Universidad de Valencia, 2018).

Mediante esta aplicación se realizaron análisis de imágenes de radar para determinar la variación del área de los cuerpos de agua contemplados en este estudio.

## **Lenguaje R**

De acuerdo con el sitio KeepCoding (2022)

R es el software básico de referencia en el mundo de la estadística. Está considerada como una de las herramientas más potentes y eficientes del mercado. Además, es un software *open source*, es decir, que no usa encriptación y, de esta manera, no tiene coste de adquisición y está disponible para todos los sistemas operativos. Está diseñado para ejecutar cálculos estadísticos, cálculos matemáticos y creación de gráficos de una manera fácil y rápida, con mucha documentación disponible gracias a la gran comunidad activa que posee por ser un proyecto colaborativo. Este lenguaje es capaz de conectarse a cualquiera de las bases de datos más utilizadas, leerla, procesarla y calcularla con una sola línea de código para todas las variables del dataset.

En el presente estudio R fue la plataforma de programación del algoritmo de web scraping para extraer de forma automática los datos de precipitación con acceso público y gratis alojados en el portal del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN). El detalle el algoritmo utilizado se encuentra en el Anexo 2.

## **Microsoft Excel**

“Es una herramienta muy eficaz para obtener información con significado a partir de grandes cantidades de datos. También funciona muy bien con cálculos sencillos y para realizar el seguimiento de casi cualquier tipo de información”. (Microsoft, 2023).

Mediante el uso de este paquete de ofimática se procesó, filtró y configuró la información de precipitación a fin de utilizarse como base para la elaboración de cartografía.

## **Google Earth Engine**

Es una plataforma de geomática basada en la nube que permite a los usuarios visualizar y analizar imágenes de satélite de nuestro planeta. Los científicos y las organizaciones sin ánimo de lucro utilizan Google Earth Engine para llevar a cabo estudios de teledetección remota, predecir brotes de enfermedades, gestionar recursos naturales, etc. (Google, s.f.)

### **3.3.3 Datos.**

#### **Imágenes de Satélite Sentinel-1 de Copernicus**

La plataforma Sentinel-1 proporciona imágenes por radar diurnas y nocturnas en cualquier condición meteorológica para los servicios terrestres y oceánicos. Los satélites gemelos Sentinel-1A y Sentinel-1B se lanzaron el 3 de abril de 2014 y el 25 de abril de 2016, respectivamente. (Copernicus, s.f.)

#### **Datos de precipitación**

La fuente de datos de precipitación utilizados en el presente estudio, fueron descargados del sitio del Centro Clima, Agrometeorología y Calidad del Aire del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales: [http://srt.ambiente.gob.sv/old/index.php?fecha=2022-12-01&rutina=ver\\_diarios](http://srt.ambiente.gob.sv/old/index.php?fecha=2022-12-01&rutina=ver_diarios). En el Anexo 1, se presenta una pantalla que corresponde a la interfaz de este sitio en la cual se presentan los datos meteorológicos que se consultan.

### **3.4 Técnicas y procedimientos**

#### ***Webscraping***

Técnica utilizada mediante programas de software para extraer información de sitios web. Usualmente, estos programas simulan la navegación de un humano en la World Wide Web ya sea utilizando el protocolo HTTP manualmente, o incrustando un navegador en una aplicación. (Castro, 2021). En el Anexo 2, se presenta el algoritmo utilizado para la extracción de datos de precipitación.

#### **Método de interpolación IDW**

“La herramienta IDW (Ponderación de distancia inversa) utiliza un método de interpolación que estima los valores de las celdas calculando promedios de los valores de los puntos de datos de muestra en la vecindad de cada celda de procesamiento.” (ESRI, s.f).

#### **Algoritmo K-Means**

“Algoritmo de clasificación no supervisada que agrupa objetos en k grupos basándose en sus características. El agrupamiento se realiza minimizando la suma de distancias entre cada objeto y el centroide de su grupo o clúster, suele usar la distancia cuadrática.” (Unioviado, s.f.)

#### **Procedimientos**

A continuación se describen una secuencia detallada de pasos a seguir para poder realizar los diferentes análisis que contempla el estudio.

#### **Procedimiento 1. Procesamiento de datos de lluvia**

Objetivo del procedimiento: crear una base de datos de valores de precipitación insumo principal para la elaboración de cartografía digital.

Condiciones:

- Se descargaron los datos de precipitación diaria para todo el periodo del estudio.

- Se crearon tablas de consolidación de datos.
- Se filtraron datos para las estaciones ubicadas en la zona de estudio.
- Se calcularon los periodos secos tomando como referencia de clasificación metodológica del MARN (5 a 10 días, débil; 11-15 días, moderada y 16 días o más, severa).

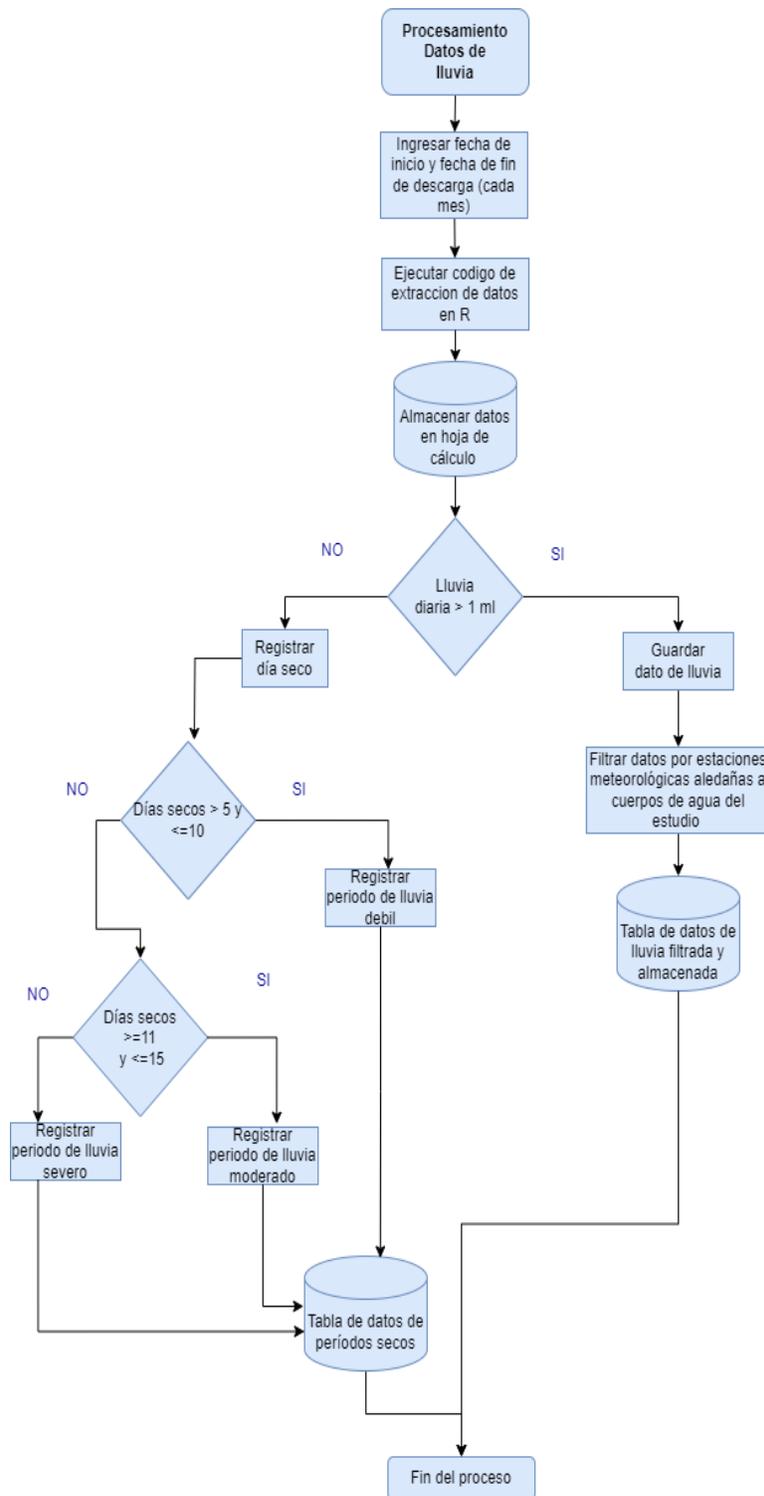
#### Recursos utilizados:

- Lenguaje R
- Consola con editor de lenguaje R
- Algoritmo de extracción de datos escrito en lenguaje R
- Software Microsoft Excel

#### Resultados

- Datos de precipitación y periodos de sequía procesados y consolidados por mes.

**Figura 5.**  
*Diagrama de flujo procesamiento de datos de lluvia*



## **Procedimiento 2. Procesamiento de imágenes de radar Sentinel 1**

Objetivo del procedimiento: Cuantificar la superficie de los cuerpos de agua que contempla el estudio como fuente de datos para calcular variaciones.

Condiciones:

- Se tomó como referencia el comportamiento de la variable de precipitación para cada año del estudio para la elección de los meses de análisis.
- Se aplicó en tres momentos en cada año (antes, durante y después de la época lluviosa) para un periodo de cinco años de 2018 a 2022

Recursos utilizados:

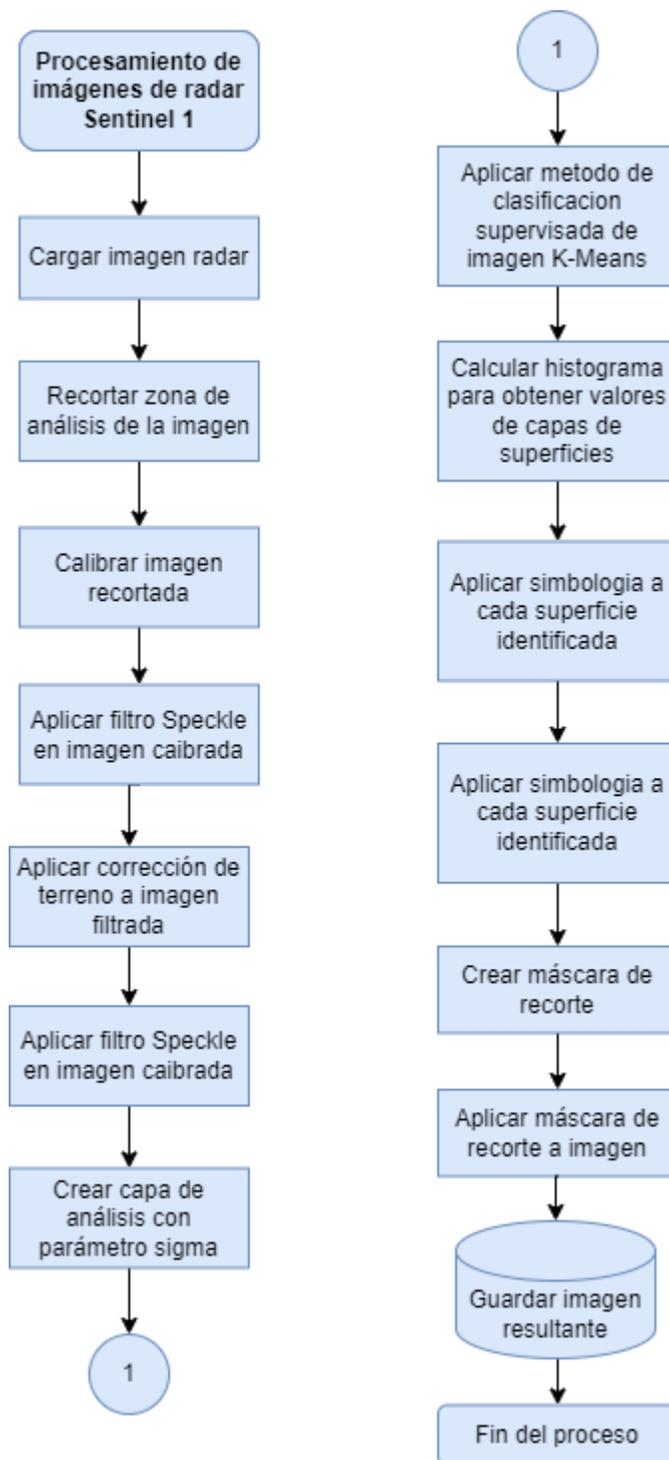
- Software SNAP
- Imagen fuente de radar Sentinel 1 de cada fecha de análisis.

Resultados

- Imagen de radar procesada con la delimitación del área que corresponde al cuerpo de agua y la cuantización en unidades de metros cuadrados.

**Figura 6.**

*Diagrama de flujo para procesamiento de imágenes de radar Sentinel 1*



### **Procedimiento 3. Elaboración de mapas de lluvia**

Objetivo del procedimiento: Crear mapas de precipitación en software ArcGIS Pro para contrastar con resultados de análisis de superficie de agua.

Condiciones:

- Se tomó como insumo principal la cantidad de lluvia acumulada mensual para cada una de las estaciones aledañas a la ubicación de los cuerpos de agua.
- Se aplicó en tres momentos en cada año (antes, durante y después de la época lluviosa) para un periodo de cinco años de 2018 a 2022.

Recursos utilizados:

- Software ArcGIS Pro

Resultados

- Mapa de lluvia acumulado, representado con superficies en tono azul, cuya interpretación fue a mayor cantidad de lluvia, mayor intensidad de color.
- Gráfico de periodos de sequía para cada estación meteorológica.

**Figura 7.**

*Diagrama de flujo para elaboración de mapas de lluvia*



#### **Procedimiento 4. Identificación de zonas inundables**

Objetivo del procedimiento: Crear capa de datos con la identificación de zonas inundables en diferentes años como insumos para aplicación web.

Condiciones:

- Para la determinación del periodo de análisis se tomó como referencia el registro histórico de fenómenos de lluvias del MARN.
- Se ejecutó un script en java script para un periodo antes y otro periodo después de la ocurrencia del fenómeno.

Recursos utilizados:

- Aplicación en línea Google Earth Engine
- Script de análisis de imágenes de radar

Resultados

- Capa (archivo en formato shape) de datos con superficies susceptibles a inundación.

Limitantes:

- El algoritmo solo se puede utilizar para analizar fenómenos ocurridos desde 2017; año desde el cual se tiene acceso a imágenes de Google Engine.
- Se debe conocer la zona a mapear ya que elementos como techos con paneles solares el algoritmo los clasifica como superficie de agua.
- El algoritmo da mejores resultados para periodos de superficie inundada mayor a 6 días, considerando el periodo de revisita del satélite del cual se tiene acceso a las imágenes.

**Figura 8.**

*Diagrama de flujo para identificación de zonas inundables*



## 4. RESULTADOS

A continuación, se describen los resultados de la presente investigación los cuales se detallan de la siguiente manera:

1. Mostrar para cada año del periodo de estudio tres mapas de precipitación correspondiente tres diferentes momentos de análisis de datos: antes, durante y después de la época lluviosa para los cuatro cuerpos de agua estudiados. Adjunto a este resultado se presenta un gráfico de barras con el detalle de los periodos de sequía clasificados en tres categorías; Leve (L) es decir entre 5 a 10 días seco; Moderado (M) entre 11 a 15 días secos y severo mayor a 15 días secos consecutivos.
2. Posteriormente se presenta una serie temporal de análisis de superficie de agua; al igual que el ítem anterior se hizo para tres meses por año correspondiente a un periodo previo a la época lluviosa; el segundo mes durante la época lluviosa y se tomó como referencia el mes con mayor cantidad de precipitación acumulada y el tercer mes de análisis se eligió posterior a la época lluviosa.
3. Consolidación por cada cuerpo de agua y por año, lo cual ofrece un panorama general del comportamiento de la variación de superficie de agua respecto a la precipitación.
4. Finalmente, se presenta una sección de datos estadísticos y gráficos resultantes del análisis de zonas inundables para la zona urbana de la ciudad de San Miguel; datos que sirvieron de base para elaborar mapas de inundación de la zona de estudio y estos a su vez se integraron en una ampliación de mapa histórico de ArcGIS Online.

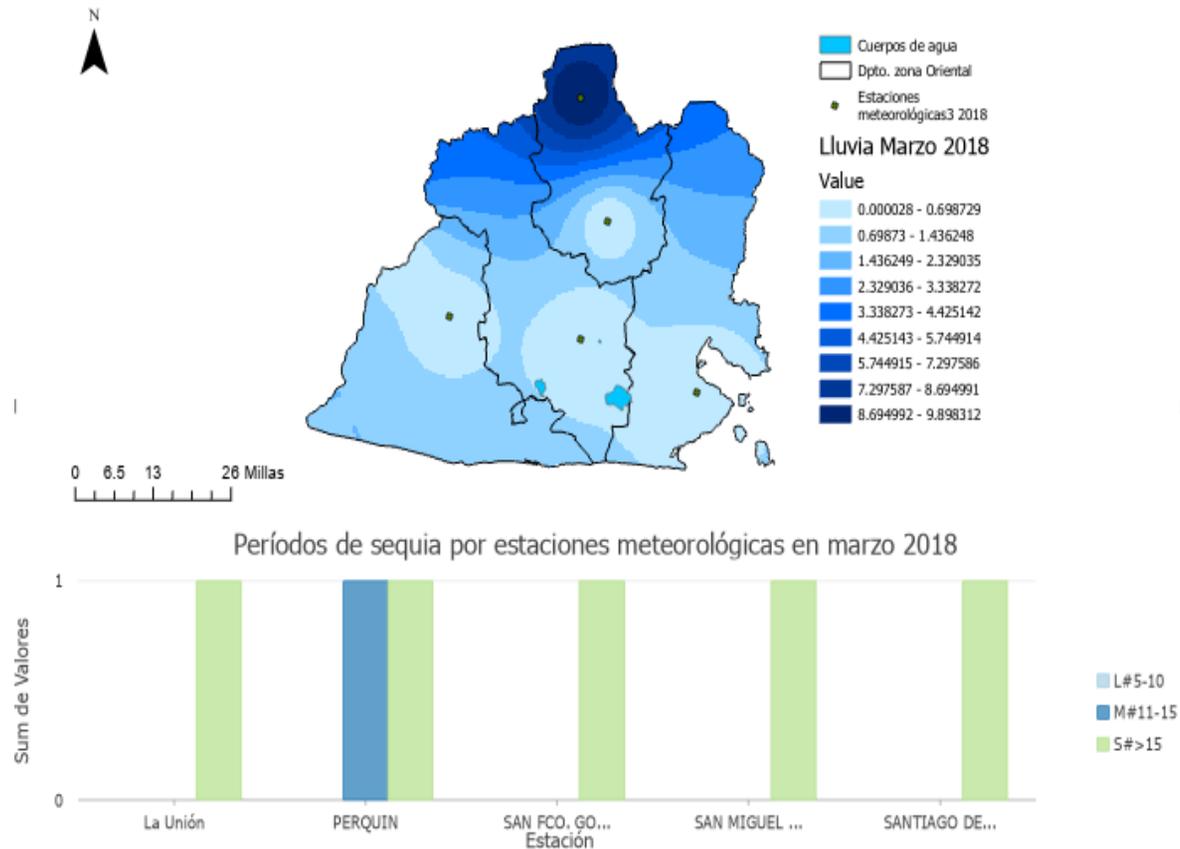
## 4.1 Delimitación de cuerpos de agua.

### 4.1.1 Zona oriental.

#### Datos de precipitación año 2018

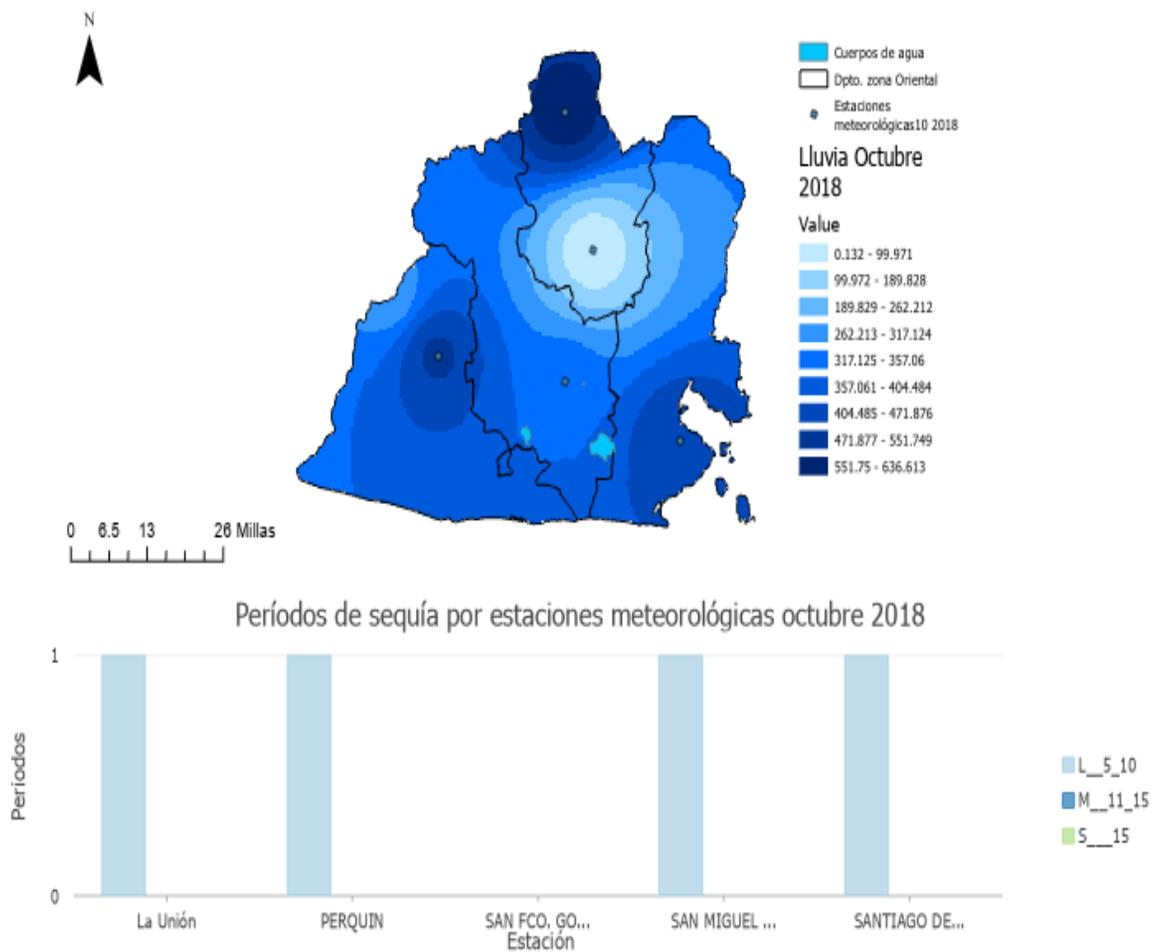
Figura 9.

Cantidad de lluvia y periodos secos en zona oriental, marzo 2018



Nota: La imagen fue elaborada en software ArcGIS Pro. Fuente datos meteorológicos del MARN.

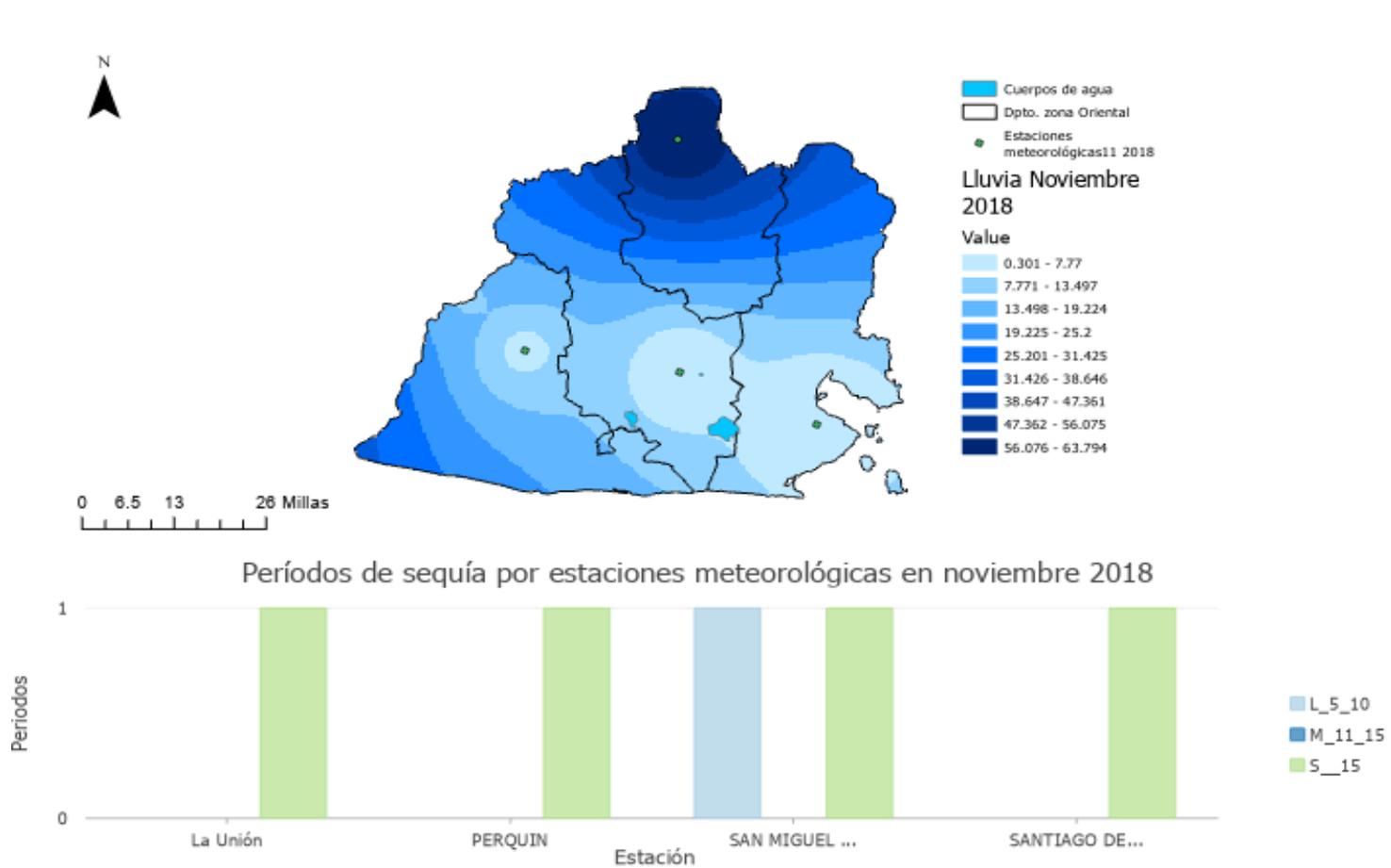
**Figura 10.**  
*Cantidad de lluvia y periodos secos en zona oriental, octubre 2018*



*Nota:* La imagen fue elaborada en software ArcGIS Pro. Fuente datos meteorológicos del MARN.

**Figura 11.**  
*Cantidad de lluvia y periodos secos en zona oriental, noviembre 2018*

Cantidad de lluvia en zona oriental, noviembre 2018



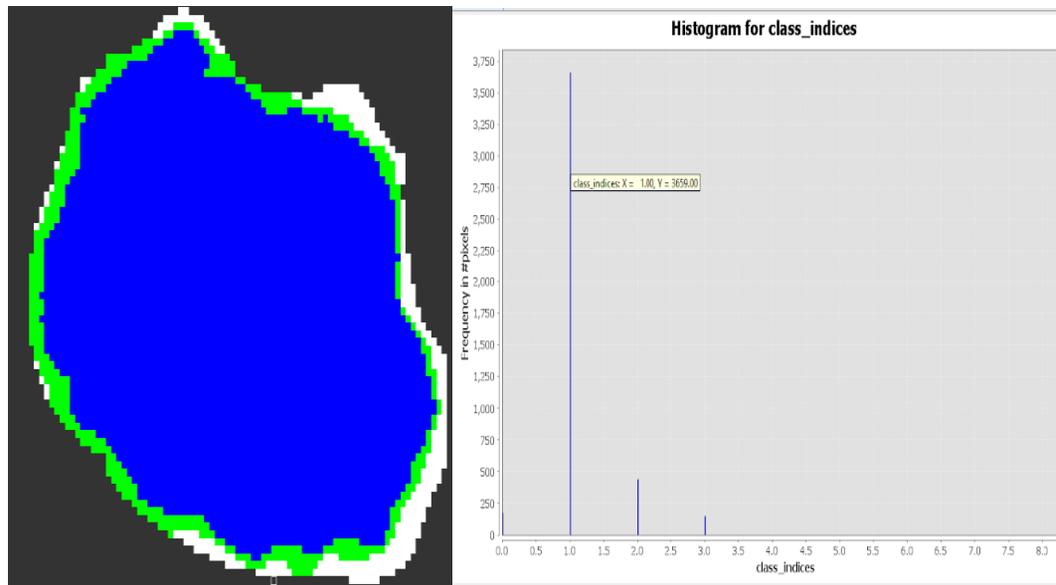
*Nota:* La imagen fue elaborada en software ArcGIS Pro. Fuente datos meteorológicos del MARN.

## Análisis de variación de superficie de agua 2018, utilizando SNAP.

### Laguna de Aramuaca.

#### Figura 12.

Mapa de delimitación de superficie de agua transición época seca a lluviosa 2018. Laguna Aramuaca



*Nota:* Superficie en color azul representa la superficie de agua y en color verde a la vegetación. El título y las leyendas del gráfico de la derecha fueron generados por defecto en inglés por el software SNAP y se refieren a Histograma de clases de clasificación de superficie (agua y vegetación). Fuente de datos imágenes Sentinel 1.

#### Datos

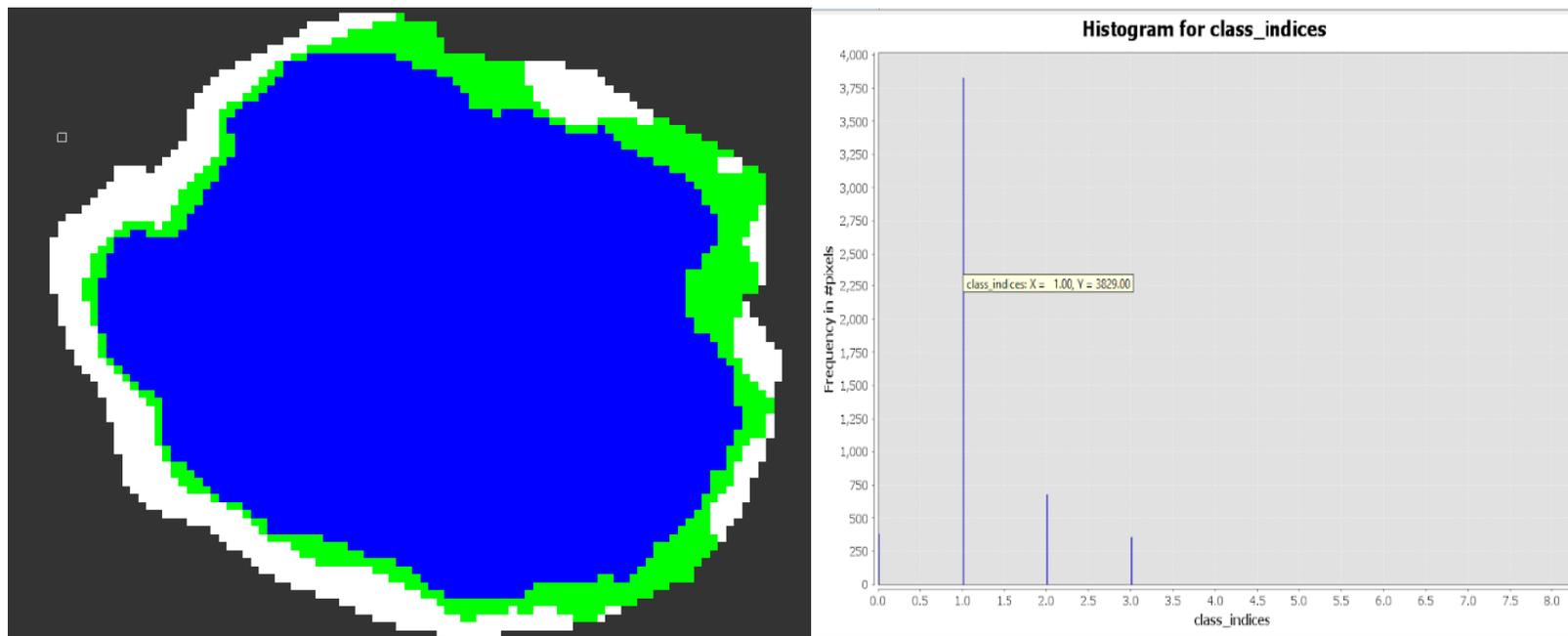
Fecha de análisis de imagen: **10 de enero de 2018.**

Cantidad de píxeles  $3659 * 0.0001 = 0.37 \text{ Km}^2$  (superficie de agua)

Cantidad de píxeles  $441 * 0.0001 = 0.04 \text{ Km}^2$  (ninja y vegetación)

**Figura 13.**

Mapa de delimitación de superficie de agua época lluviosa 2018. Laguna de Aramuaca



*Nota:* Superficie en color azul representa la superficie de agua y en color verde a la vegetación. El título y las leyendas del gráfico de la derecha fueron generadas por defecto en ingles por el software SNAP y se refieren a Histograma de clases de clasificación de superficie (agua y vegetación). Fuente de datos imágenes Sentinel 1.

### Datos

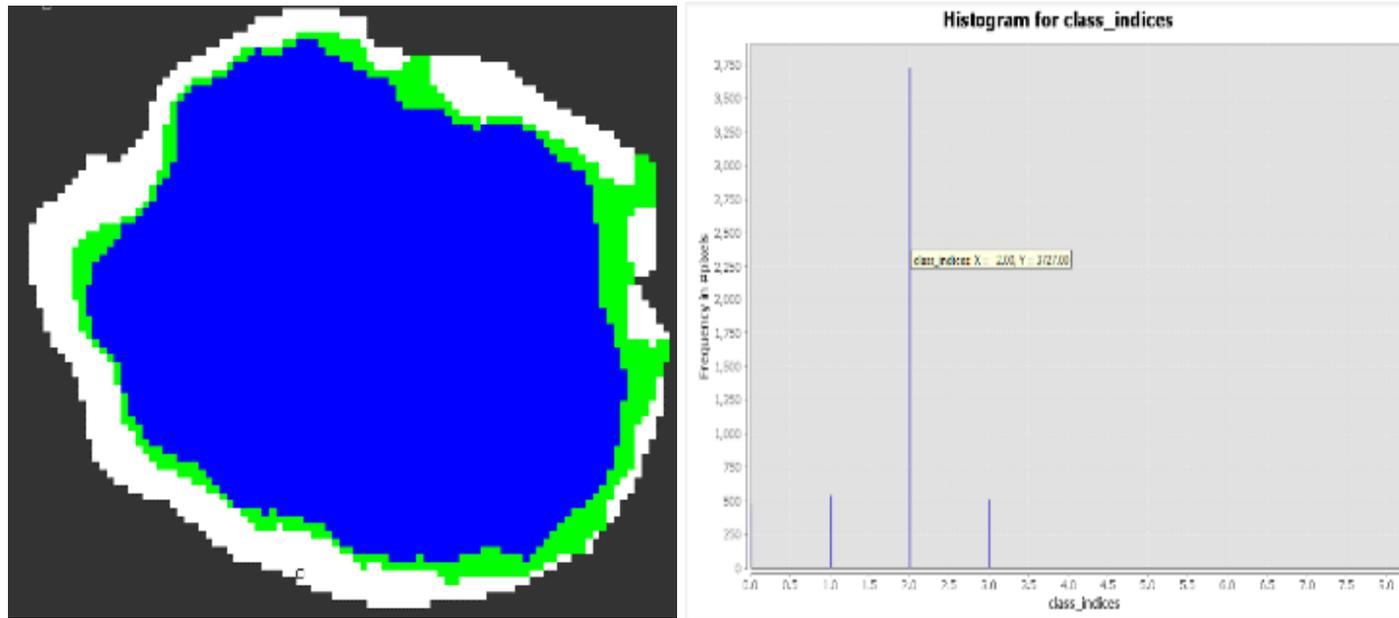
Fecha de análisis de imagen: **23 de septiembre de 2018.**

Cantidad de pixeles  $3829 * 0.0001 = 0.38 \text{ Km}^2$  (superficie de agua)

Cantidad de pixeles  $679 * 0.0001 = 0.07 \text{ Km}^2$  (ninja y vegetación)

### Figura 14.

Mapa de delimitación de superficie de agua transición época lluviosa a seca 2018. Laguna de Aramuaca



*Nota:* Superficie en color azul representa la superficie de agua y en color verde a la vegetación. El título y las leyendas del gráfico de la derecha fueron generadas por defecto en inglés por el software SNAP y se refieren a Histograma de clases de clasificación de superficie (agua y vegetación). Fuente de datos imágenes Sentinel 1.

### Datos

Fecha de análisis de imagen: **23 de diciembre de 2018**

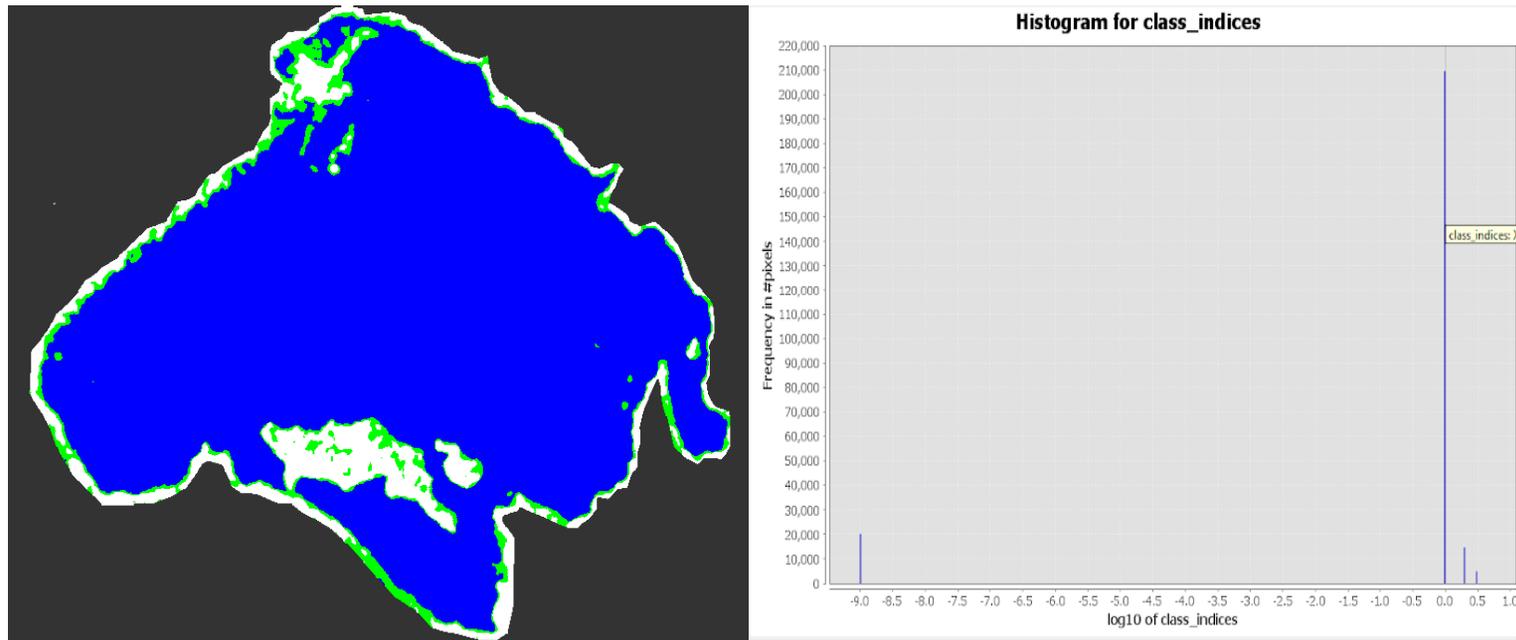
Cantidad de píxeles  $3727 * 0.0001 = 0.3727 \text{ Km}^2$  (Superficie de agua)

Cantidad de píxeles  $540 * 0.0001 = 0.05 \text{ Km}^2$  (ninja y vegetación)

## Laguna de Olomega.

**Figura 15.**

*Mapa de delimitación de superficie de agua transición época seca a lluviosa,2018, Laguna de Olomega*



*Nota:* Superficie en color azul representa la superficie de agua y en color verde a la vegetación. El título y las leyendas del gráfico de la derecha fueron generadas por defecto en inglés por el software SNAP y se refieren a Histograma de clases de clasificación de superficie (agua y vegetación). Fuente de datos imágenes Sentinel 1.

### Datos

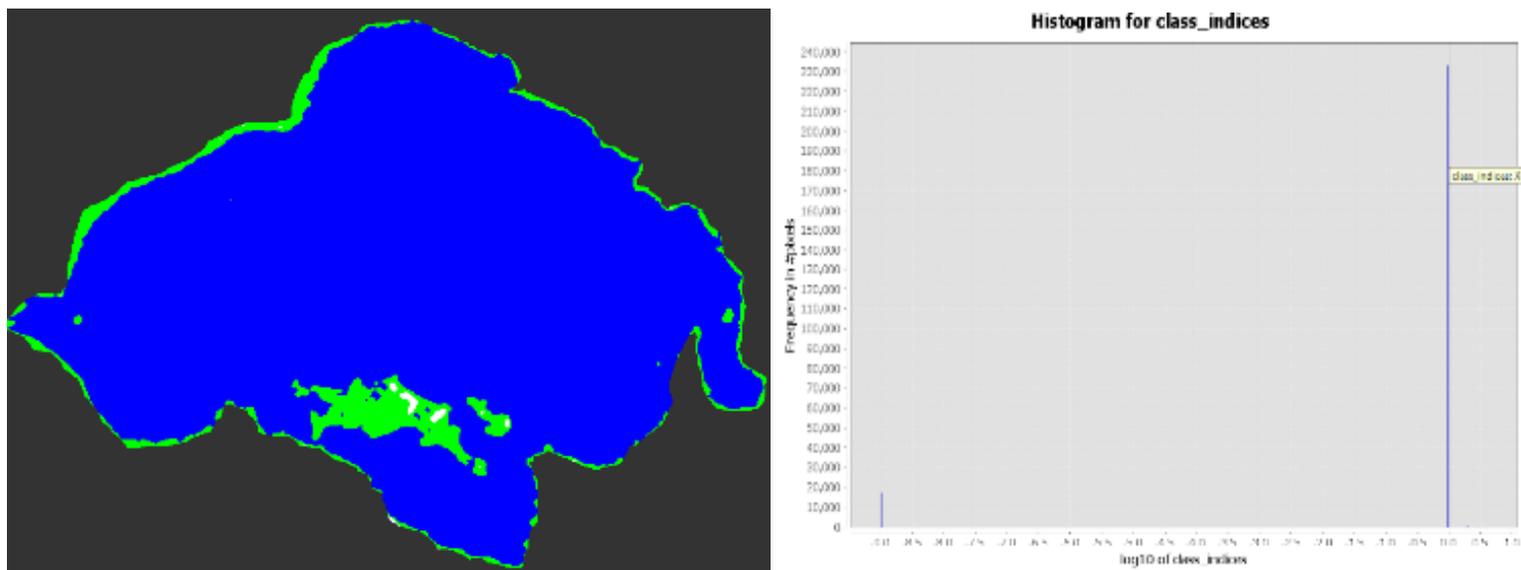
Fecha de análisis de imagen: **10 de enero de 2018.**

Cantidad de pixeles  $209563 * 0.0001 = 20.96 \text{ Km}^2$  (superficie de agua)

Cantidad de pixeles  $14704 * 0.0001 = 1.47 \text{ Km}^2$  (ninja y vegetación)

## Figura 16.

Mapa de delimitación de superficie de agua en época lluviosa. 2018. Laguna Olomega



*Nota:* Superficie en color azul representa la superficie de agua y en color verde a la vegetación. El título y las leyendas del gráfico de la derecha fueron generadas por defecto en inglés por el software SNAP y se refieren a Histograma de clases de clasificación de superficie (agua y vegetación). Fuente de datos imágenes Sentinel 1.

### Datos

Fecha de análisis de imagen: **23 de septiembre de 2018**

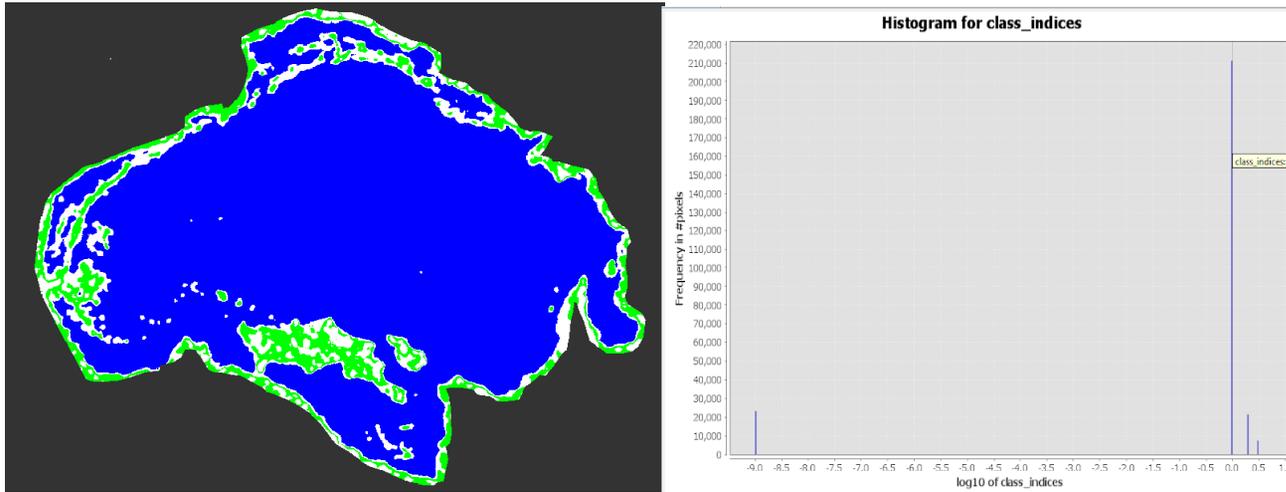
Cantidad de píxeles  $233046 * 0.0001 = 23.30 \text{ Km}^2$  (superficie de agua)

Cantidad de píxeles  $7314 * 0.0001 = 1.73 \text{ Km}^2$  (ninja y vegetación)

**Figura 17.**

Mapa de delimitación de superficie de agua transición de época lluviosa a seca. 2018. Laguna de Olomega

### Figura



*Nota:* Superficie en color azul representa la superficie de agua y en color verde a la vegetación. El título y las leyendas del gráfico de la derecha fueron generadas por defecto en inglés por el software SNAP y se refieren a Histograma de clases de clasificación de superficie (agua y vegetación). Fuente de datos imágenes Sentinel 1.

### Datos

Fecha de análisis de imagen: **23 de diciembre de 2018.**

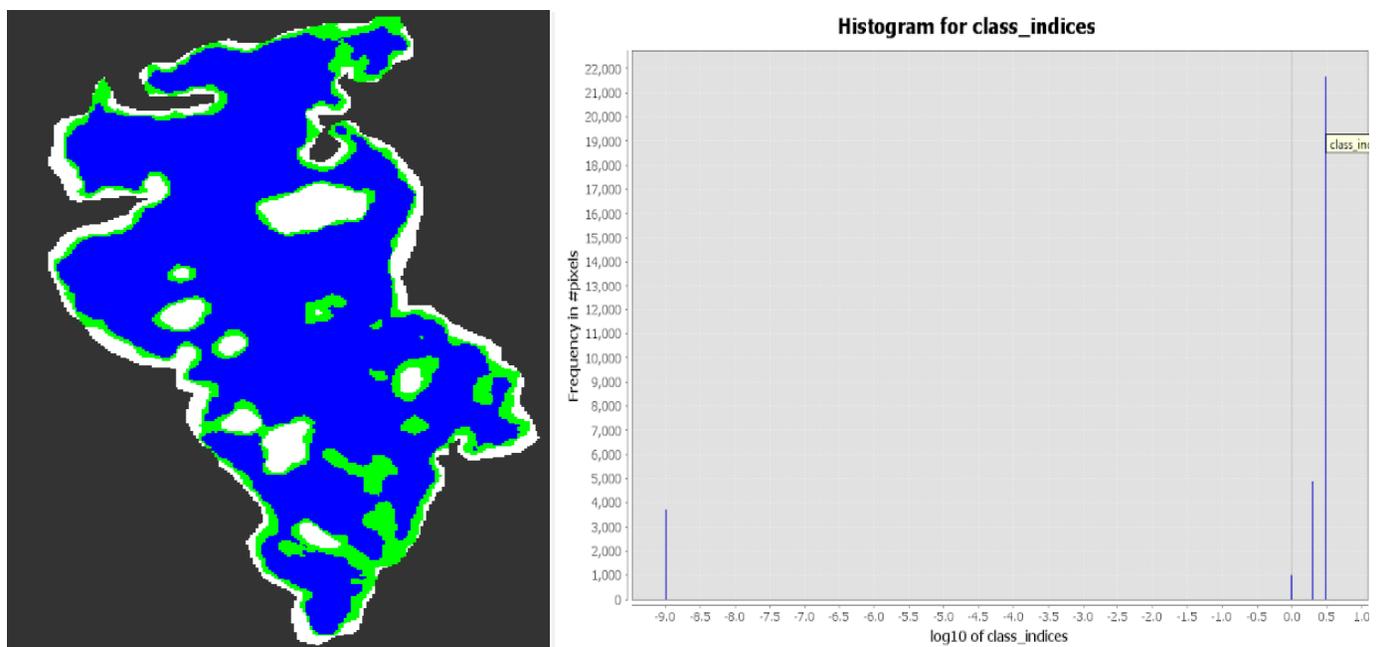
Cantidad de píxeles  $211257 * 0.0001 = 21.13 \text{ Km}^2$  (superficie de agua)

Cantidad de píxeles  $23225 * 0.0001 = 2.32 \text{ Km}^2$  (ninja y vegetación)

## Laguna de Jocotal.

**Figura 18.**

*Mapa de delimitación de superficie de agua transición época seca a lluviosa. 2018. Laguna El Jocotal*



*Nota:* Superficie en color azul representa la superficie de agua y en color verde a la vegetación. El título y las leyendas del gráfico de la derecha fueron generadas por defecto en inglés por el software SNAP y se refieren a Histograma de clases de clasificación de superficie (agua y vegetación). Fuente de datos imágenes Sentinel 1.

### Datos

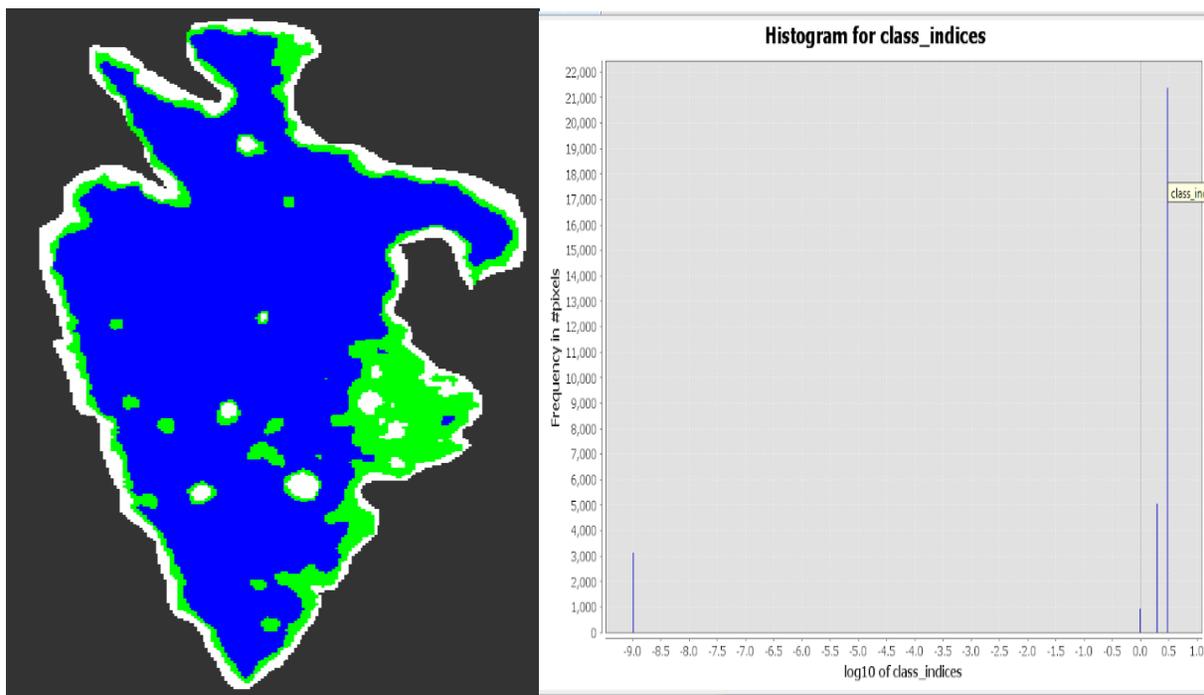
Fecha de análisis de imagen: **10 de enero de 2018.**

Cantidad de píxeles  $21674 * 0.0001 = 2.17 \text{ Km}^2$  (superficie de agua)

Cantidad de píxeles  $4886 * 0.0001 = 0.49 \text{ Km}^2$  (ninja y vegetación)

### Figura 19.

Mapa de delimitación de superficie de agua en época lluviosa. 2018. Laguna El Jocotal.



*Nota:* Superficie en color azul representa la superficie de agua y en color verde a la vegetación. El título y las leyendas del gráfico de la derecha fueron generadas por defecto en inglés por el software SNAP y se refieren a Histograma de clases de clasificación de superficie (agua y vegetación). Fuente de datos imágenes Sentinel 1.

### Datos

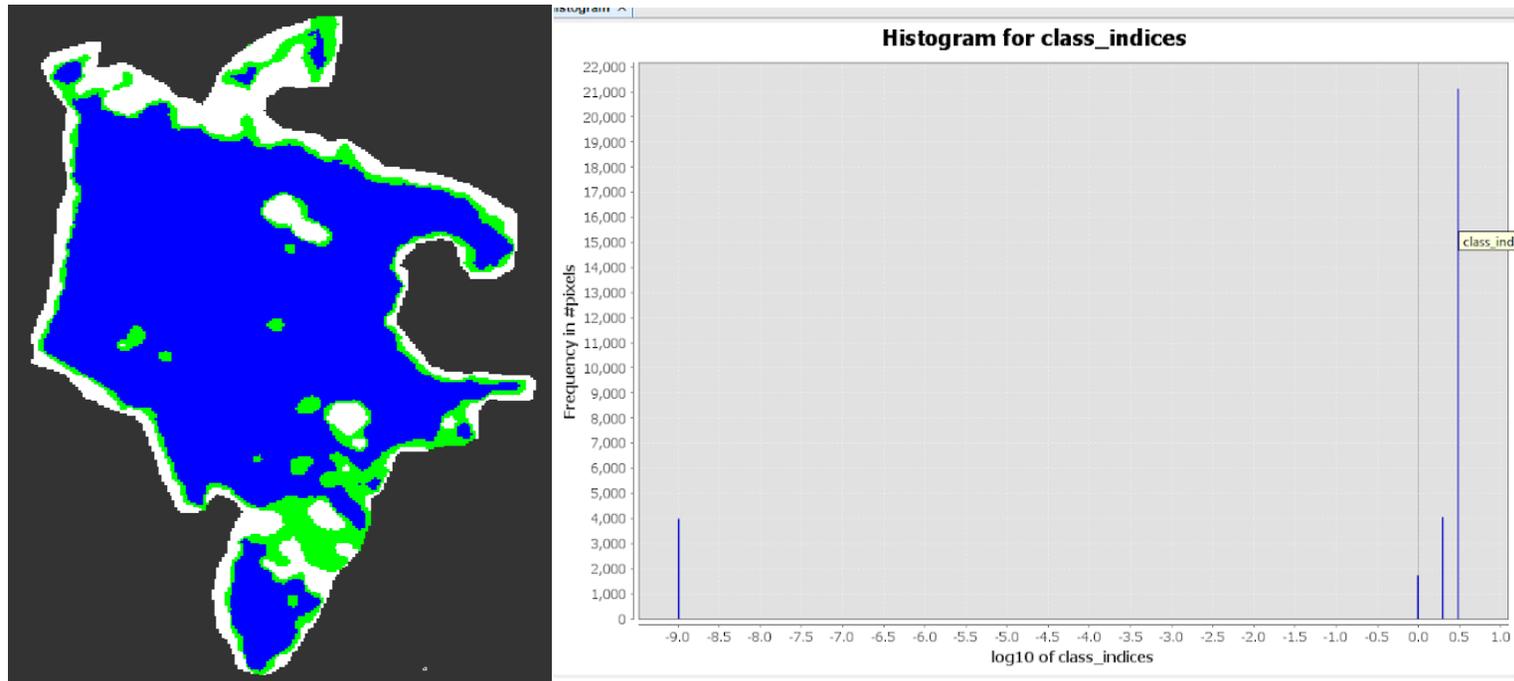
Fecha de análisis de imagen: **23 de septiembre 2018.**

Cantidad de píxeles  $21388 * 0.0001 = 2.14 \text{ Km}^2$  (superficie de agua)

Cantidad de píxeles  $5054 * 0.0001 = 0.51 \text{ Km}^2$  (ninja y vegetación)

**Figura 20.**

*Mapa de delimitación de superficie de agua en época lluviosa. 2018. Laguna El Jocotal*



*Nota:* Superficie en color azul representa la superficie de agua y en color verde a la vegetación. El título y las leyendas del gráfico de la derecha fueron generadas por defecto en inglés por el software SNAP y se refieren a Histograma de clases de clasificación de superficie (agua y vegetación). Fuente de datos imágenes Sentinel 1.

**Datos**

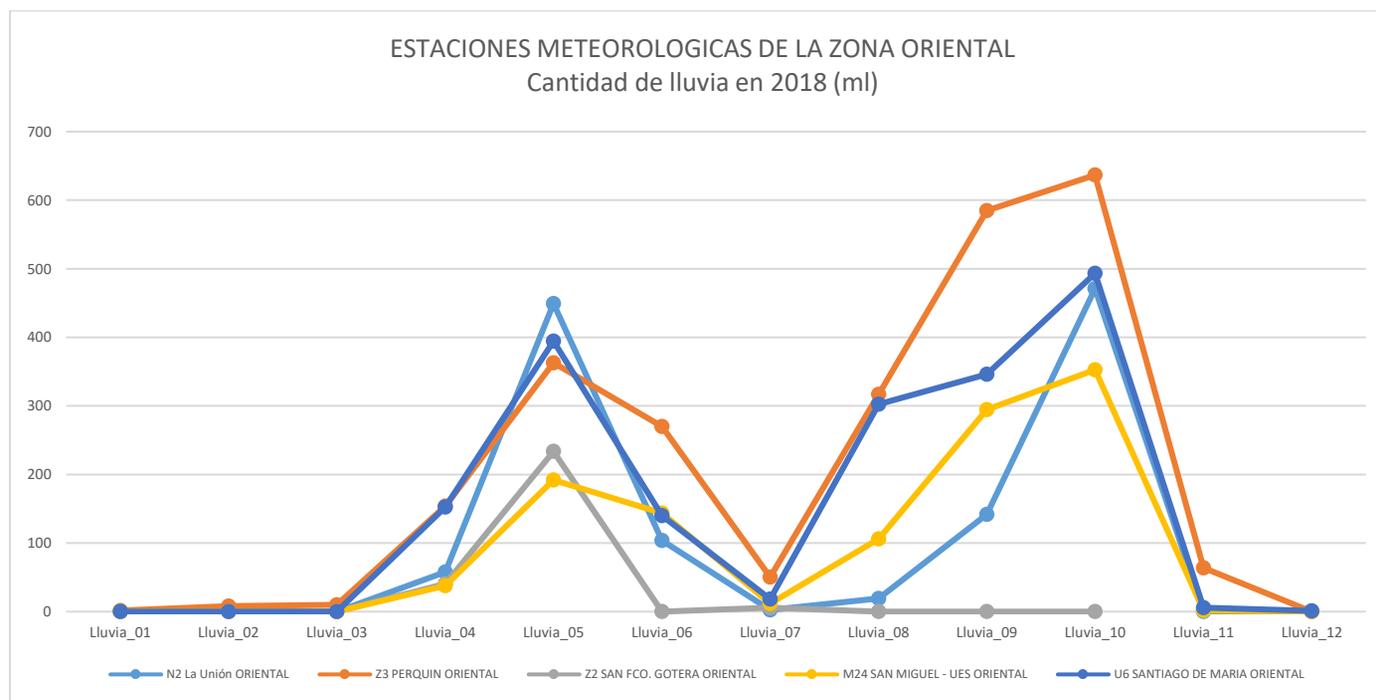
Fecha de análisis de imagen: **24 de diciembre de 2018**

Cantidad de píxeles  $21124 * 0.0001 = 2.11 \text{ Km}^2$  (superficie de agua)

Cantidad de píxeles  $4050 * 0.0001 = 0.41 \text{ Km}^2$  (ninja y vegetación)

**Figura 21.**

Lluvia acumulada. Por cada estación meteorológica de la Zona Oriental. 2018



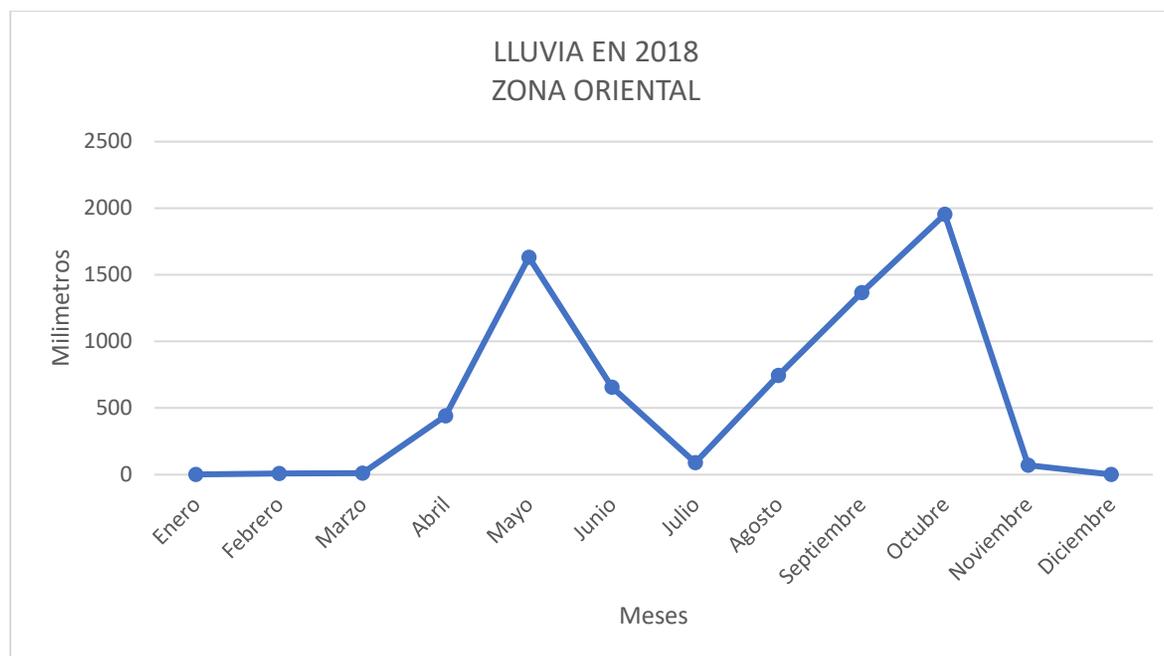
**Tabla 1.**

Lluvia acumulada en zona oriental. 2018

Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Lluvia por mes	1.5	7.9	10.1	442.1	1632.4	657.6	89	744.7	1367.5	1953.8	71.6	1

**Figura 22.**

*Lluvia acumulada para todas las estaciones de la zona oriental. 2018*



En el año 2018 la temporada de lluvias inició en abril y finalizó en octubre; siendo julio el mes en que se registró una disminución considerable de precipitación acumulada, alcanzando un promedio de 21 días aproximadamente sin registrar lluvias. La cantidad de lluvia acumulada registrada en las estaciones de la zona oriental durante todo el año 2018 fue de 6,979.2 mm.

**Tabla 2.**

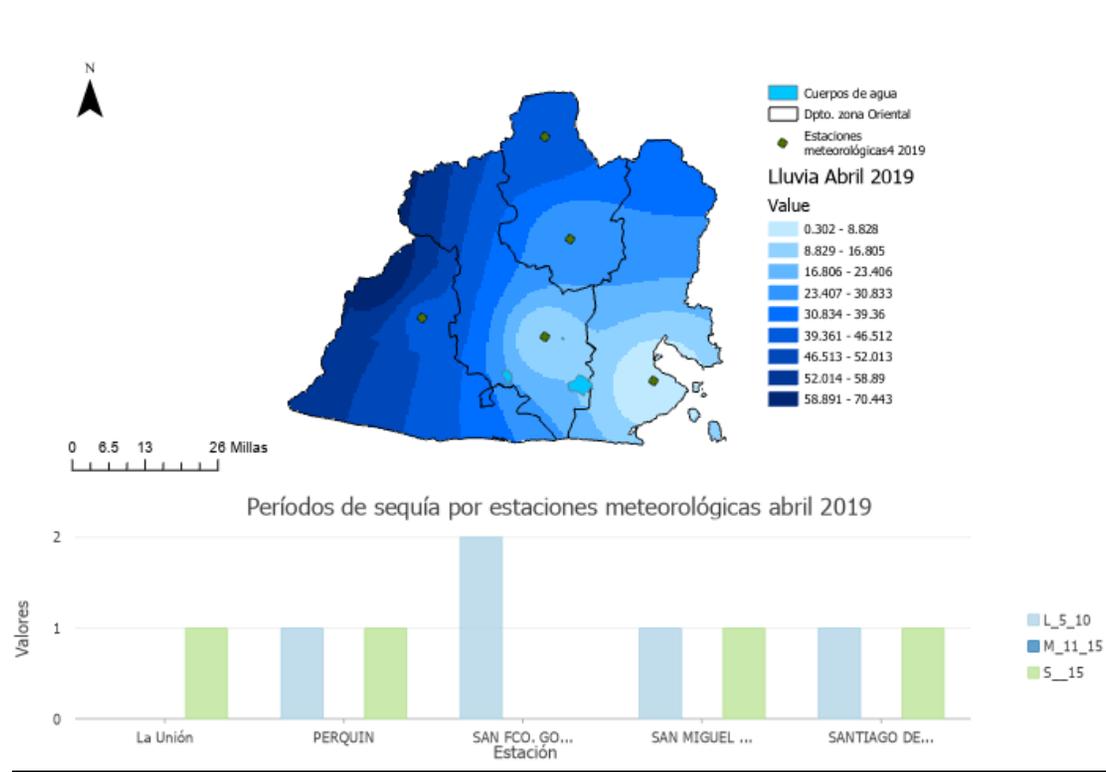
*Periodos de sequía entre abril a noviembre 2018 por estación meteorológica.*

Períodos	La Unión	Perquin	San Fco. Gotera	San Miguel - UES	Santiago de María	Total
Leve 5 -10	4	5	2	5	3	19
Medio 11 - 15	2	1	0	1	0	4
Severo >15	2	1	0	2	1	6

## Datos de precipitación año 2019

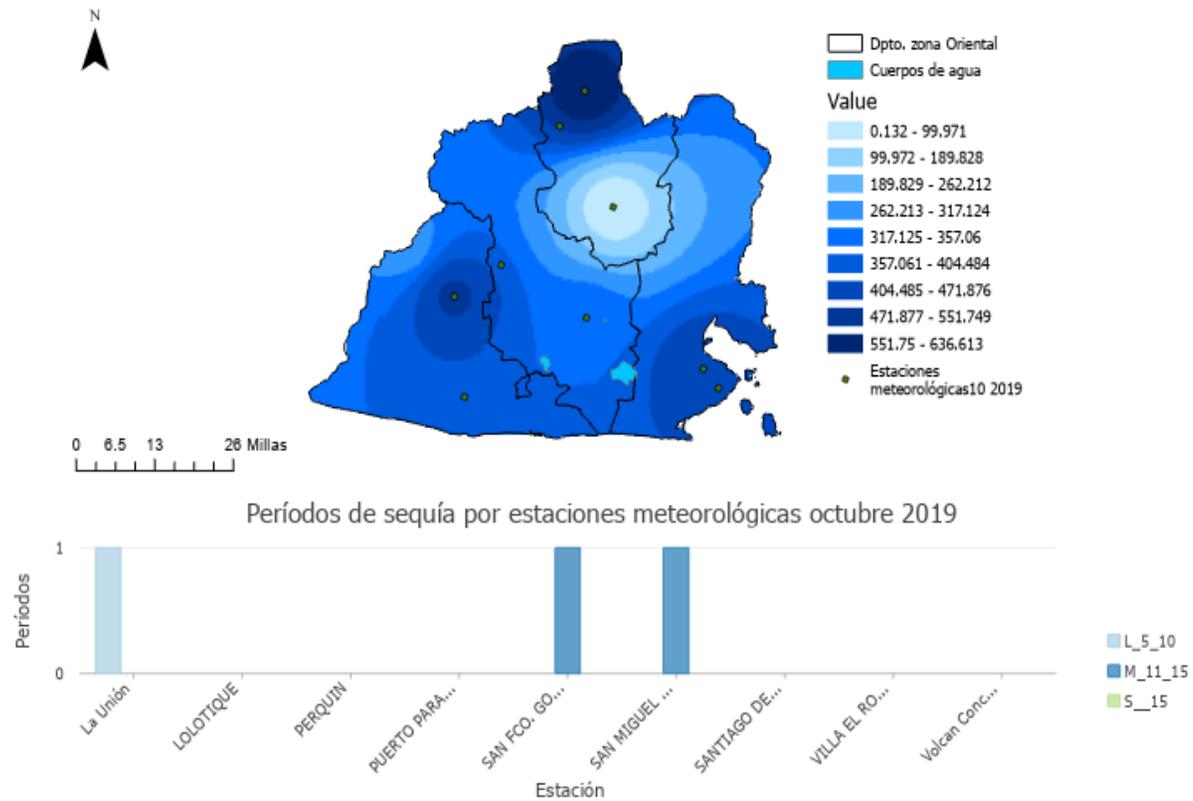
**Figura 23.**

*Cantidad de lluvia y periodos secos en zona oriental. Abril 2019*



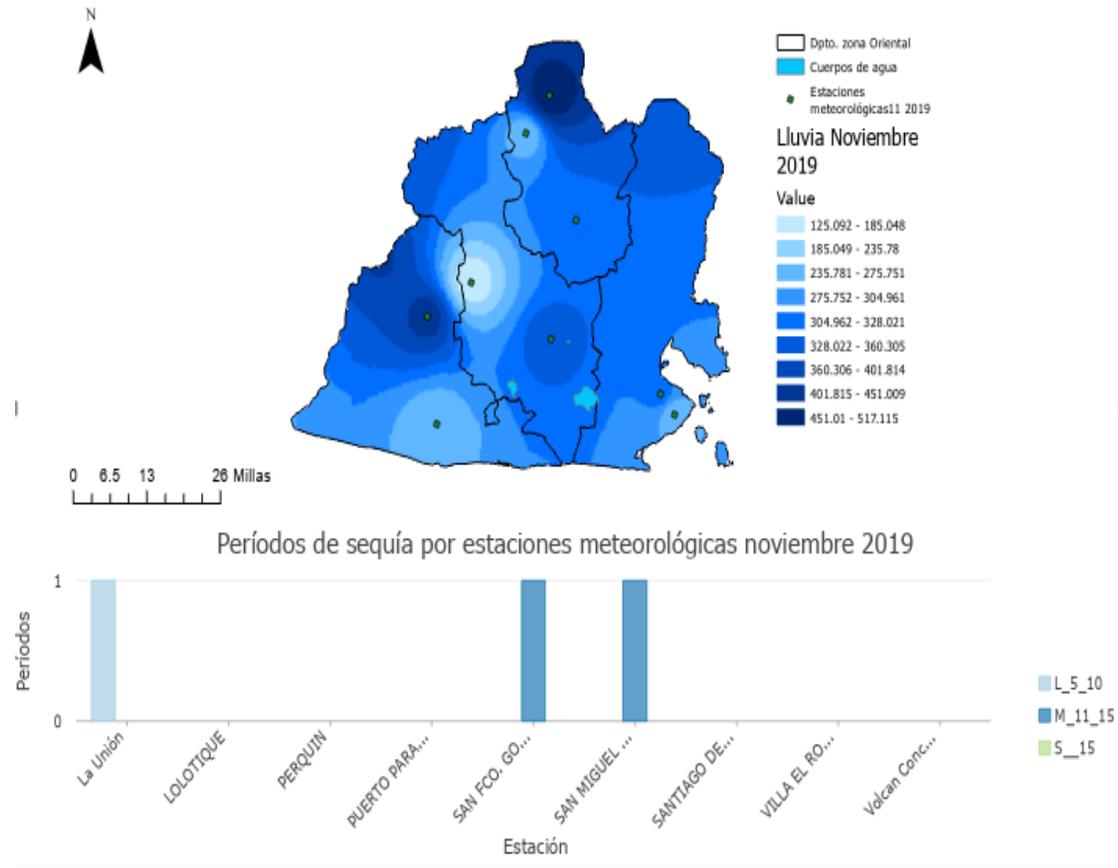
*Nota:* La imagen fue elaborada en software ArcGIS Pro. Fuente datos meteorológicos del MARN.

**Figura 24.**  
*Cantidad de lluvia y periodos secos en zona oriental, octubre 2019*



*Nota:* La imagen fue elaborada en software ArcGIS Pro. Fuente datos meteorológicos del MARN.

**Figura 25.**  
*Cantidad de lluvia y periodos secos en zona oriental, noviembre 2019*



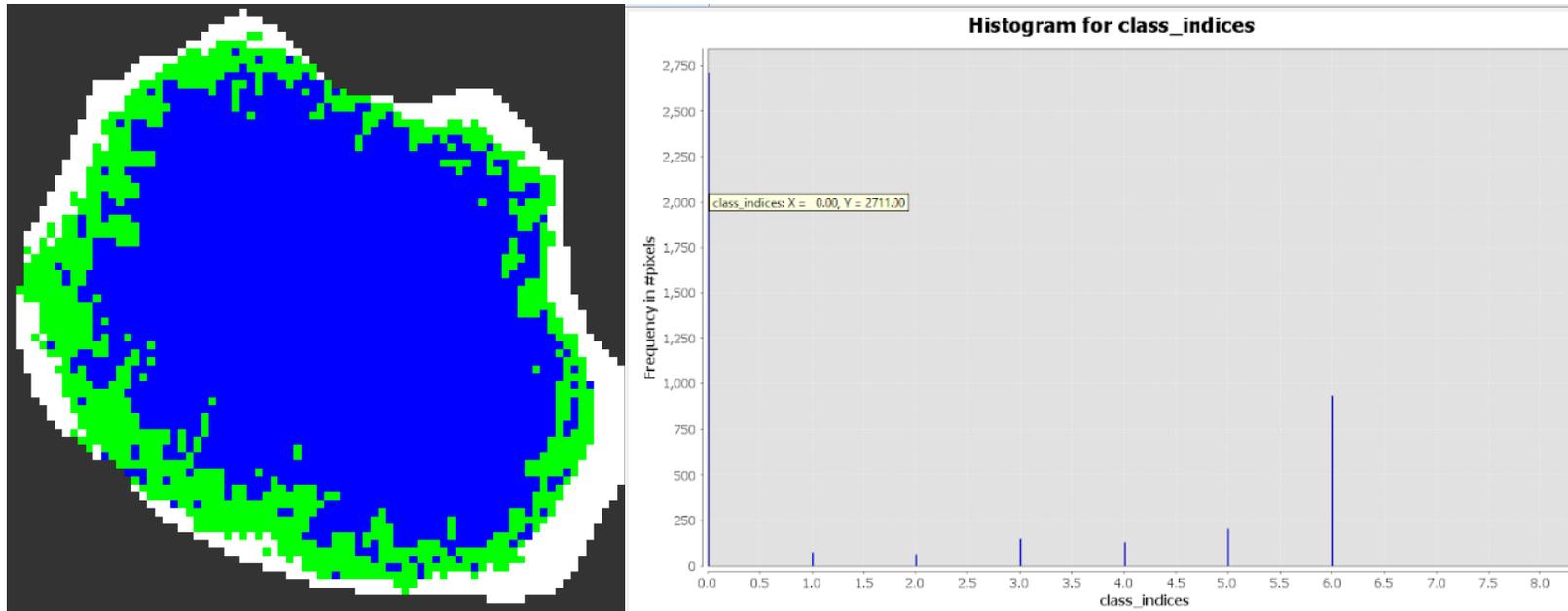
*Nota:* La imagen fue elaborada en software ArcGIS Pro. Fuente datos meteorológicos del MARN.

## Análisis de variación de superficie de agua 2019, utilizando SNAP.

### Laguna de Aramuaca.

#### Figura 26.

Mapa de delimitación de superficie de agua transición época seca a lluviosa 2019, Laguna de Aramuaca



*Nota:* Superficie en color azul representa la superficie de agua y en color verde a la vegetación. El título y las leyendas del gráfico de la derecha fueron generadas por defecto en inglés por el software SNAP y se refieren a Histograma de clases de clasificación de superficie (agua y vegetación). Fuente de datos imágenes Sentinel 1.

#### Datos

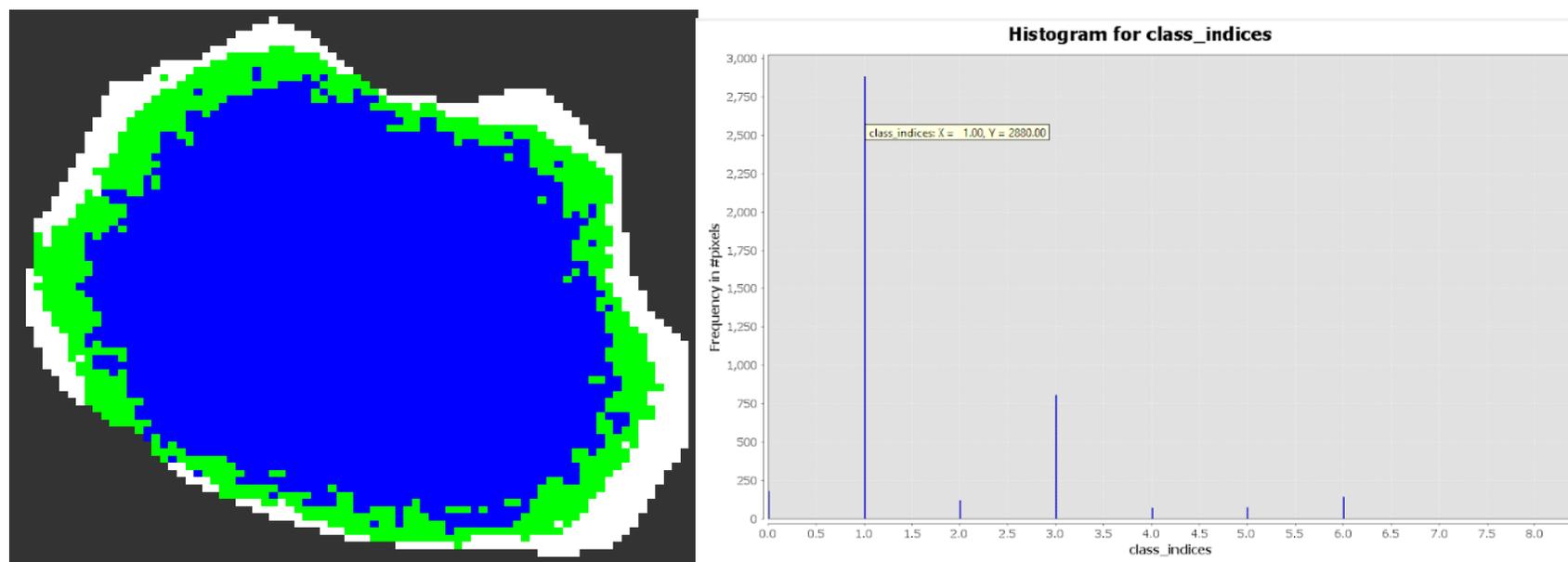
Fecha de análisis de imagen: **12 de enero de 2019**

Cantidad de píxeles  $2711 * 0.0001 = 0.27 \text{ Km}^2$  (superficie de agua)

Cantidad de píxeles  $935 * 0.0001 = 0.94 \text{ Km}^2$  (ninja y vegetación)

**Figura 27.**

*Mapa de delimitación de superficie de agua época lluviosa, 2019, Laguna de Aramuaca*



*Nota:* Superficie en color azul representa la superficie de agua y en color verde a la vegetación. El título y las leyendas del gráfico de la derecha fueron generadas por defecto en inglés por el software SNAP y se refieren a Histograma de clases de clasificación de superficie (agua y vegetación). Fuente de datos imágenes Sentinel 1.

### Datos

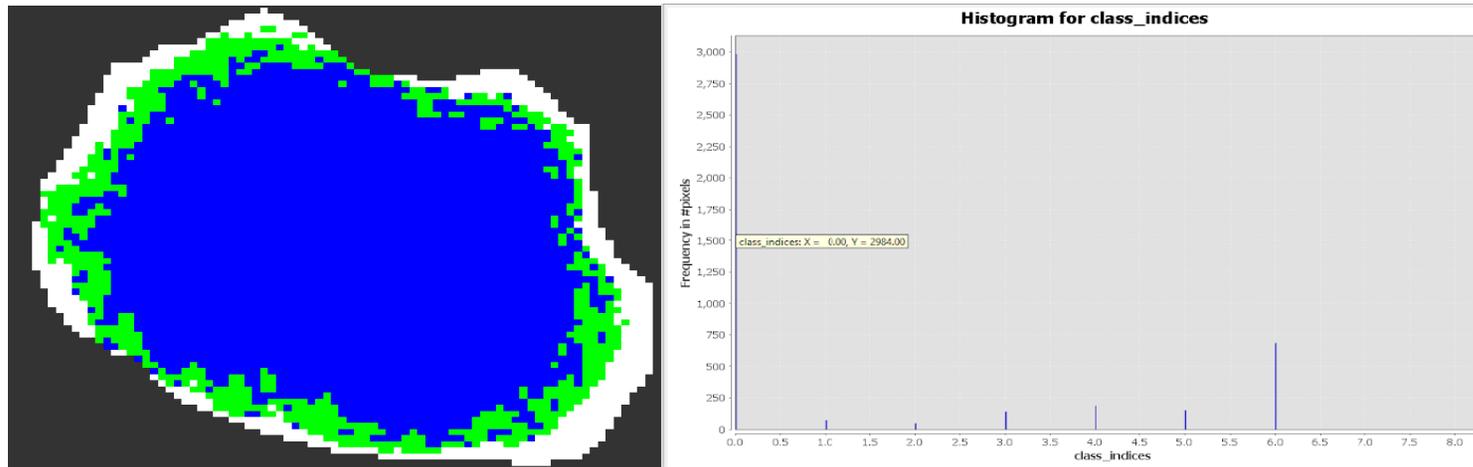
Fecha de análisis de imagen: **24 de octubre de 2019.**

Cantidad de píxeles  $2880 * 0.0001 = 0.29 \text{ Km}^2$  (superficie de agua)

Cantidad de píxeles  $805 * 0.0001 = 0.08 \text{ Km}^2$  (ninja y vegetación)

### Figura 28.

Mapa de delimitación de superficie de agua transición época lluviosa a seca, 2019, Laguna de Aramuaca



Nota: Superficie en color azul representa la superficie de agua y en color verde a la vegetación. El título y las leyendas del gráfico de la derecha fueron generadas por defecto en ingles por el software SNAP y se refieren a Histograma de clases de clasificación de superficie (agua y vegetación). Fuente de datos imágenes Sentinel 1.

### Datos

Fecha de análisis de imagen: **07de diciembre 2019.**

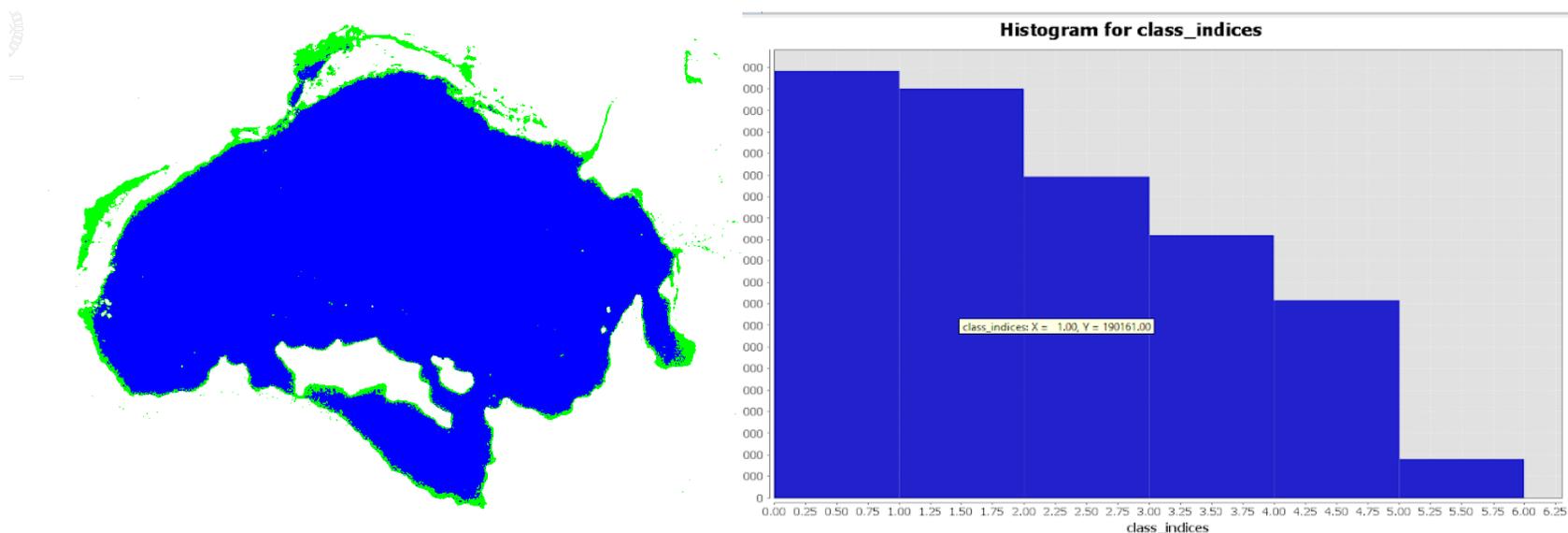
Cantidad de pixeles  $2984 * 0.0001 = 0.30 \text{ Km}^2$  (superficie de agua)

Cantidad de pixeles  $686 * 0.0001 = 0.07 \text{ Km}^2$  (ninja y vegetación)

## Laguna de Olomega.

### Figura 29.

Mapa de delimitación de superficie de agua transición época seca a lluviosa, 2019, Laguna de Olomega



*Nota:* Superficie en color azul representa la superficie de agua y en color verde a la vegetación. El título y las leyendas del gráfico de la derecha fueron generadas por defecto en inglés por el software SNAP y se refieren a Histograma de clases de clasificación de superficie (agua y vegetación). Fuente de datos imágenes Sentinel 1.

### Datos

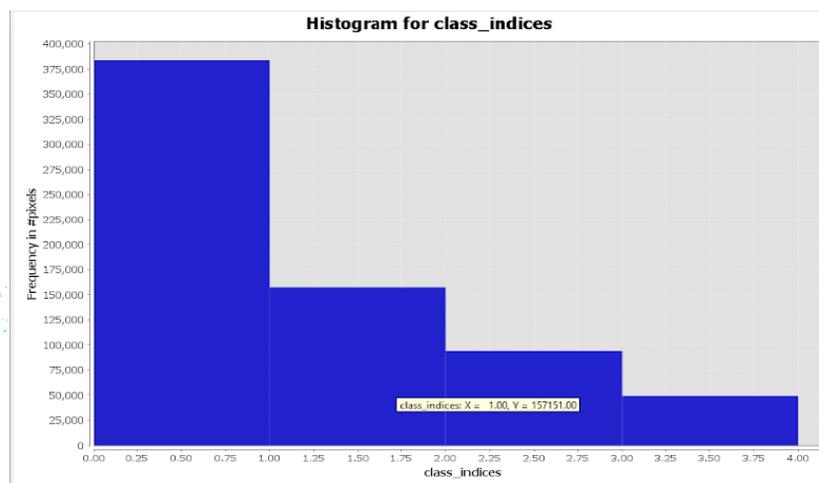
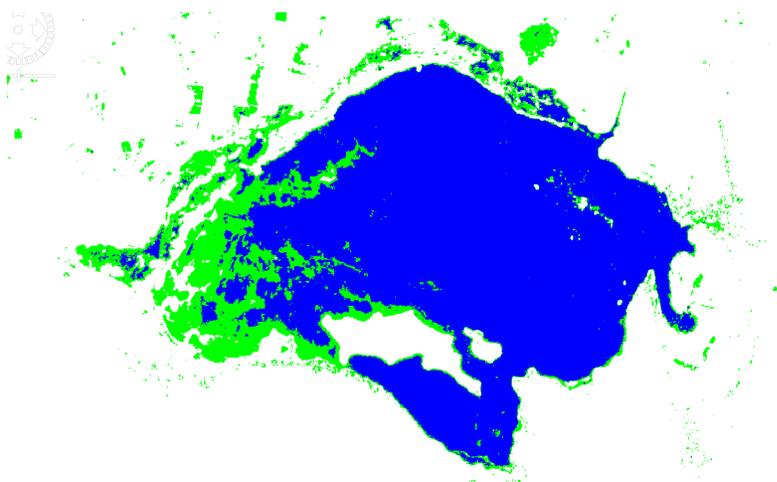
Fecha de análisis de imagen: **12 de enero de 2019**

Cantidad de píxeles  $190161 * 0.0001 = 19.02 \text{ Km}^2$  (superficie de agua)

Cantidad de píxeles  $17976 * 0.0001 = 1.80 \text{ Km}^2$  (ninja y vegetación)

**Figura 30.**

Mapa de delimitación de superficie de agua época lluviosa, 2019. Laguna de Olomega



*Nota:* Superficie en color azul representa la superficie de agua y en color verde a la vegetación. El título y las leyendas del gráfico de la derecha fueron generadas por defecto en inglés por el software SNAP y se refieren a Histograma de clases de clasificación de superficie (agua y vegetación). Fuente de datos imágenes Sentinel 1.

**Datos**

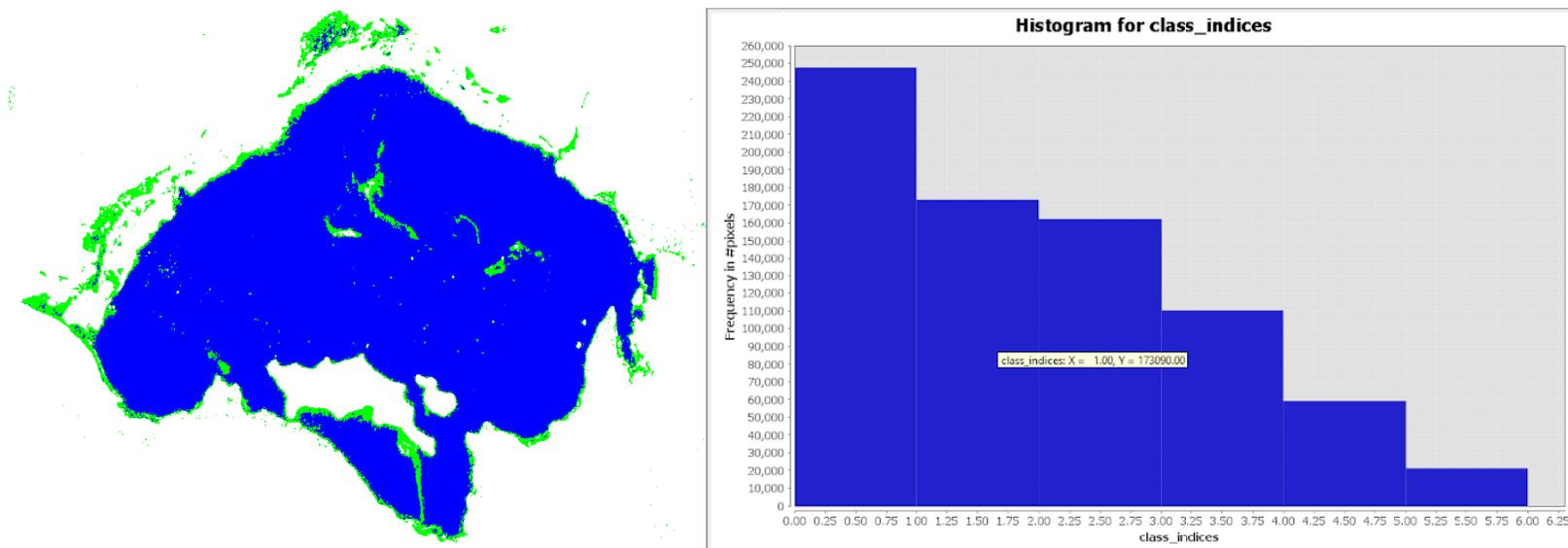
Fecha de análisis de imagen: **24 de octubre de 2019.**

Cantidad de píxeles  $157151 * 0.0001 = 15.72 \text{ Km}^2$  (superficie de agua)

Cantidad de píxeles  $49225 * 0.0001 = 4.92 \text{ Km}^2$  (ninja y vegetación)

**Figura 31.**

Mapa de delimitación de superficie de agua transición época lluviosa a seca, 2019. Laguna de Olomega



*Nota:* Superficie en color azul representa la superficie de agua y en color verde a la vegetación. El título y las leyendas del gráfico de la derecha fueron generadas por defecto en inglés por el software SNAP y se refieren a Histograma de clases de clasificación de superficie (agua y vegetación). Fuente de datos imágenes Sentinel 1.

### Datos

Fecha de análisis de imagen: **28 de diciembre 2019.**

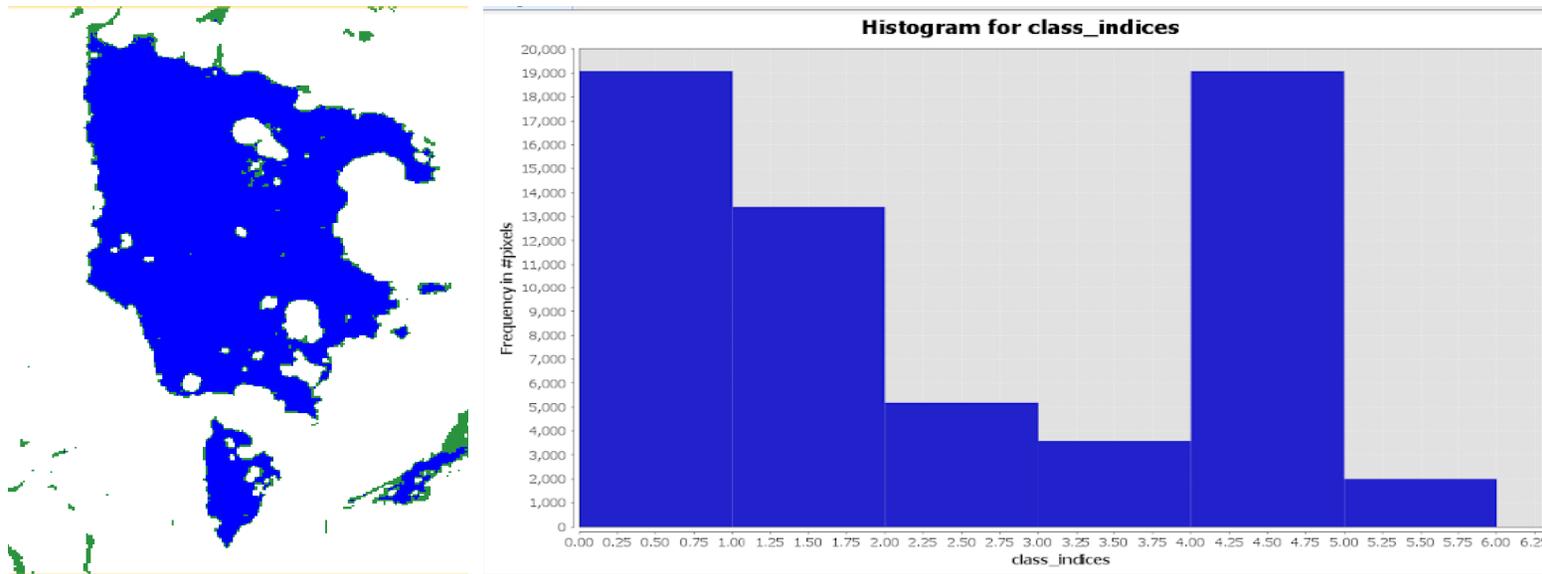
Cantidad de píxeles 173090 \* 0.0001 = **17.31 Km<sup>2</sup> (superficie de agua)**

Cantidad de píxeles 21220 \* 0.0001 = **2.12 Km<sup>2</sup> (ninja y vegetación)**

## Laguna de Jocotal.

### Figura 32.

Mapa de delimitación de superficie de agua transición época seca a lluviosa, 2019. Laguna El Jocotal



*Nota:* Superficie en color azul representa la superficie de agua y en color verde a la vegetación. El título y las leyendas del gráfico de la derecha fueron generados por defecto en inglés por el software SNAP y se refieren a Histograma de clases de clasificación de superficie (agua y vegetación). Fuente de datos imágenes Sentinel 1.

### Datos

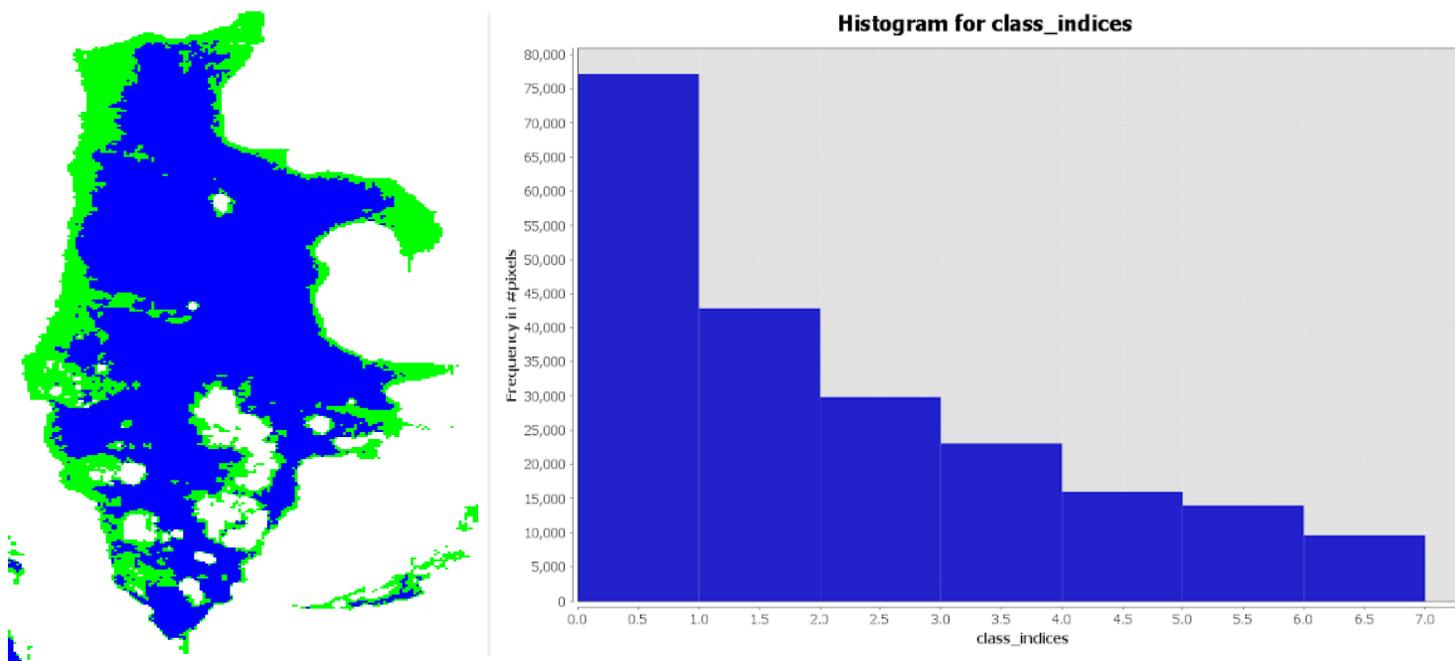
Fecha de análisis de imagen: **12 de enero 2019.**

Cantidad de píxeles  $19078 * 0.0001 = 1.91 \text{ Km}^2$  (superficie de agua)

Cantidad de píxeles  $1997 * 0.0001 = 0.20 \text{ Km}^2$  (ninja y vegetación)

### Figura 33.

Mapa de delimitación de superficie de agua época lluviosa, 2019, Laguna El Jocotal



*Nota:* Superficie en color azul representa la superficie de agua y en color verde a la vegetación. El título y las leyendas del gráfico de la derecha fueron generadas por defecto en inglés por el software SNAP y se refieren a Histograma de clases de clasificación de superficie (agua y vegetación). Fuente de datos imágenes Sentinel 1.

### Datos

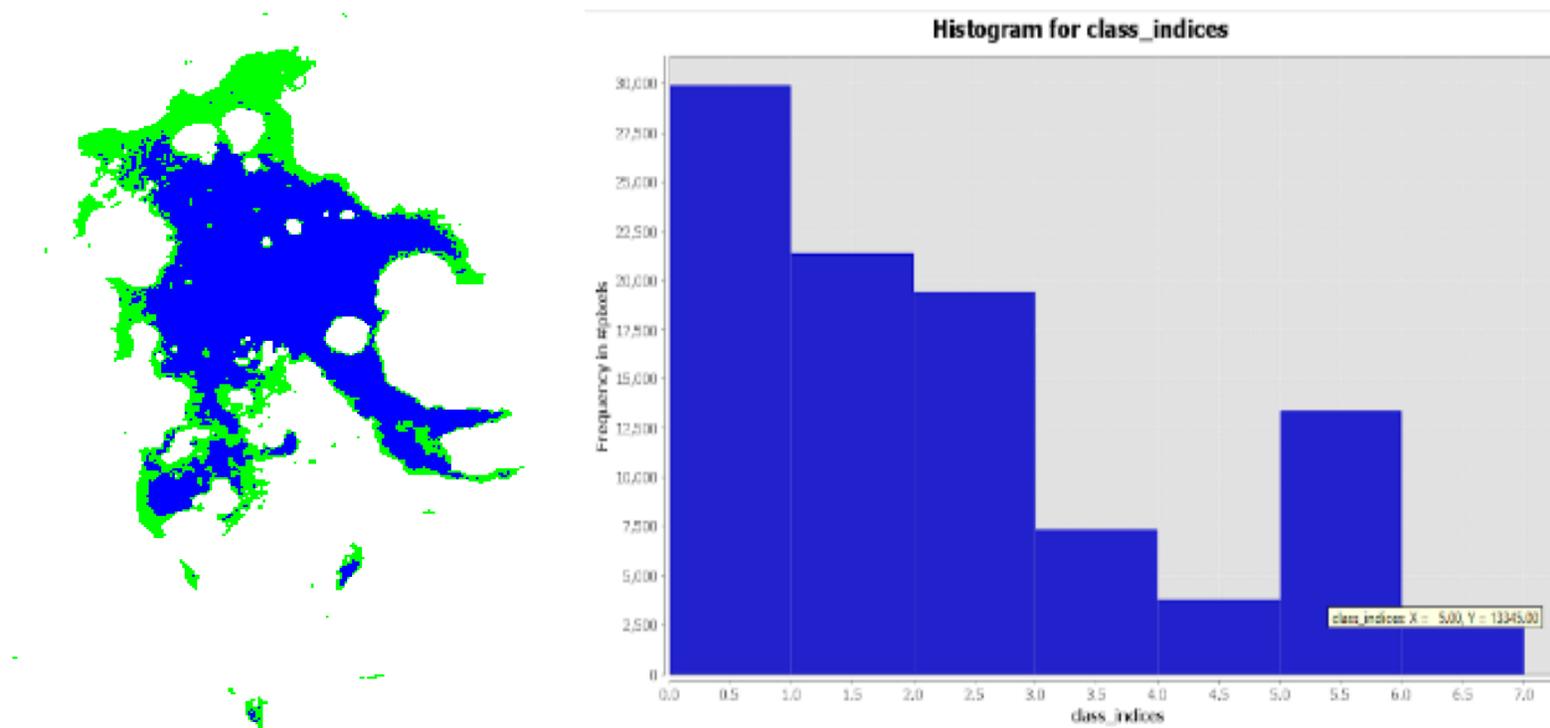
Fecha de análisis de imagen: **24 de octubre de 2019.**

Cantidad de píxeles  $16429 * 0.0001 = 1.64 \text{ Km}^2$  (superficie de agua)

Cantidad de píxeles  $6894 * 0.0001 = 0.69 \text{ Km}^2$  (ninja y vegetación)

**Figura 34.**

*Mapa de delimitación de superficie de agua transición época lluviosa a seca, 2019, Laguna El Jocotal*



*Nota:* Superficie en color azul representa la superficie de agua y en color verde a la vegetación. El título y las leyendas del gráfico de la derecha fueron generadas por defecto en inglés por el software SNAP y se refieren a Histograma de clases de clasificación de superficie (agua y vegetación). Fuente de datos imágenes Sentinel 1.

**Datos**

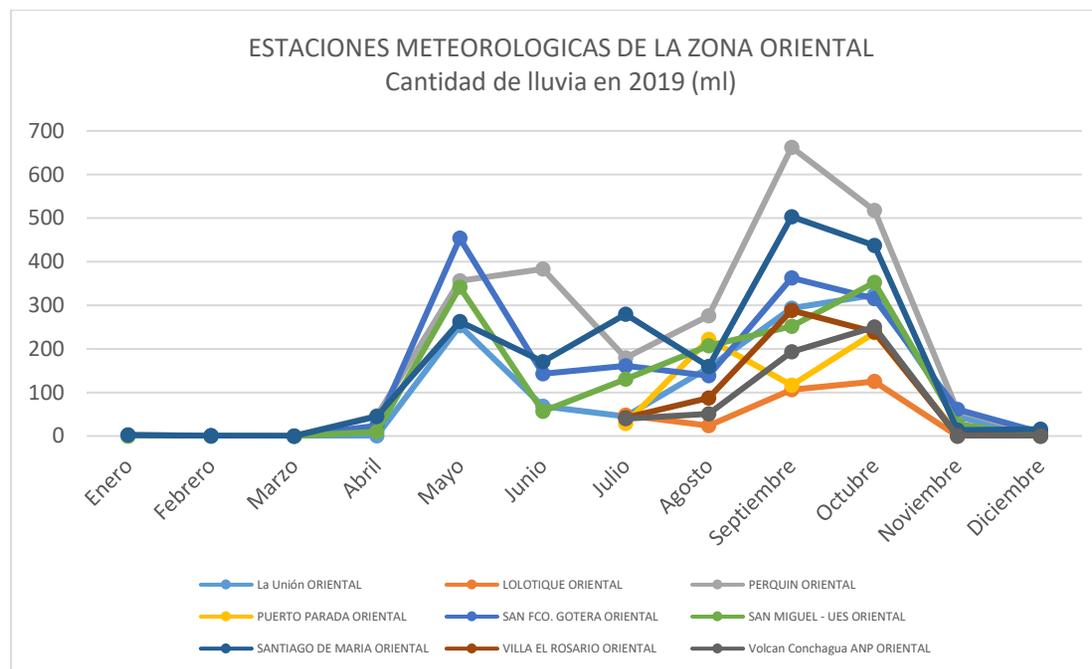
Fecha de análisis de imagen: **28 de diciembre de 2019**

Cantidad de pixeles 9714 \* 0.0001= **0.97 Km<sup>2</sup> (superficie de agua)**

Cantidad de pixeles 5263 \* 0.0001= **0.53 Km<sup>2</sup> (ninja y vegetación)**

**Figura 35.**

*Lluvia acumulada. Por cada estación meteorológica de la Zona Oriental, 2019*



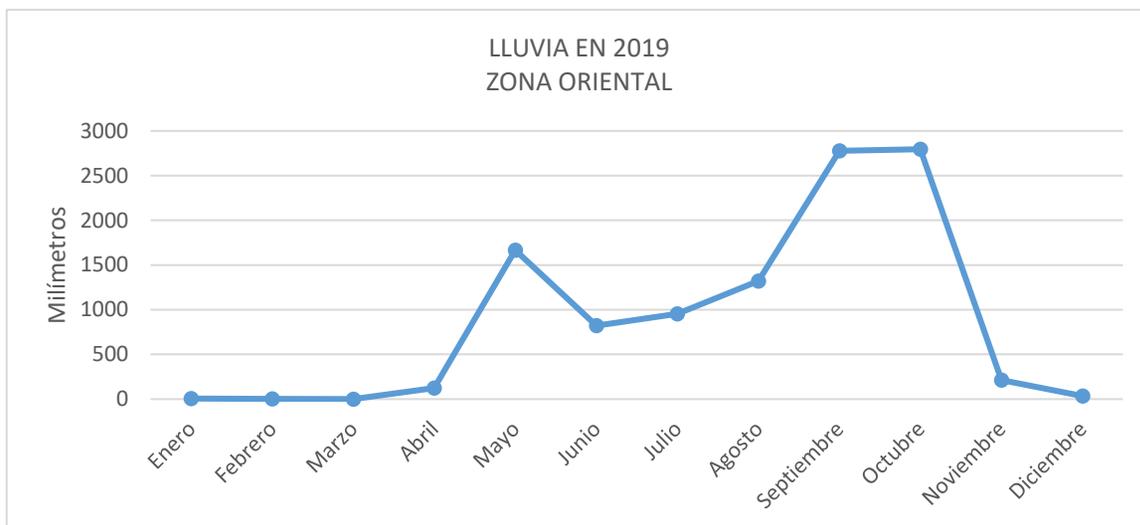
**Tabla 3.**

*Lluvia acumulada en Zona Oriental. 2019*

Estación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Lluvia por mes (mm)	6.3	2.4	0.4	125.1	1667.5	821.4	953.8	1321	2776.4	2795.2	211.6	35.2

**Figura 36.**

*Lluvia acumulada de todas las estaciones de la Zona Oriental, 2019*



En el año 2019 la época lluviosa tuvo su inicio en abril y finalizó en octubre, en junio se registró la mayor disminución, mes en el cual se tuvieron 13 días secos aproximadamente, la cantidad de lluvia total registrada en la zona oriental registrada en 2019 fue de 10,716.3 mm.

**Tabla 4.**

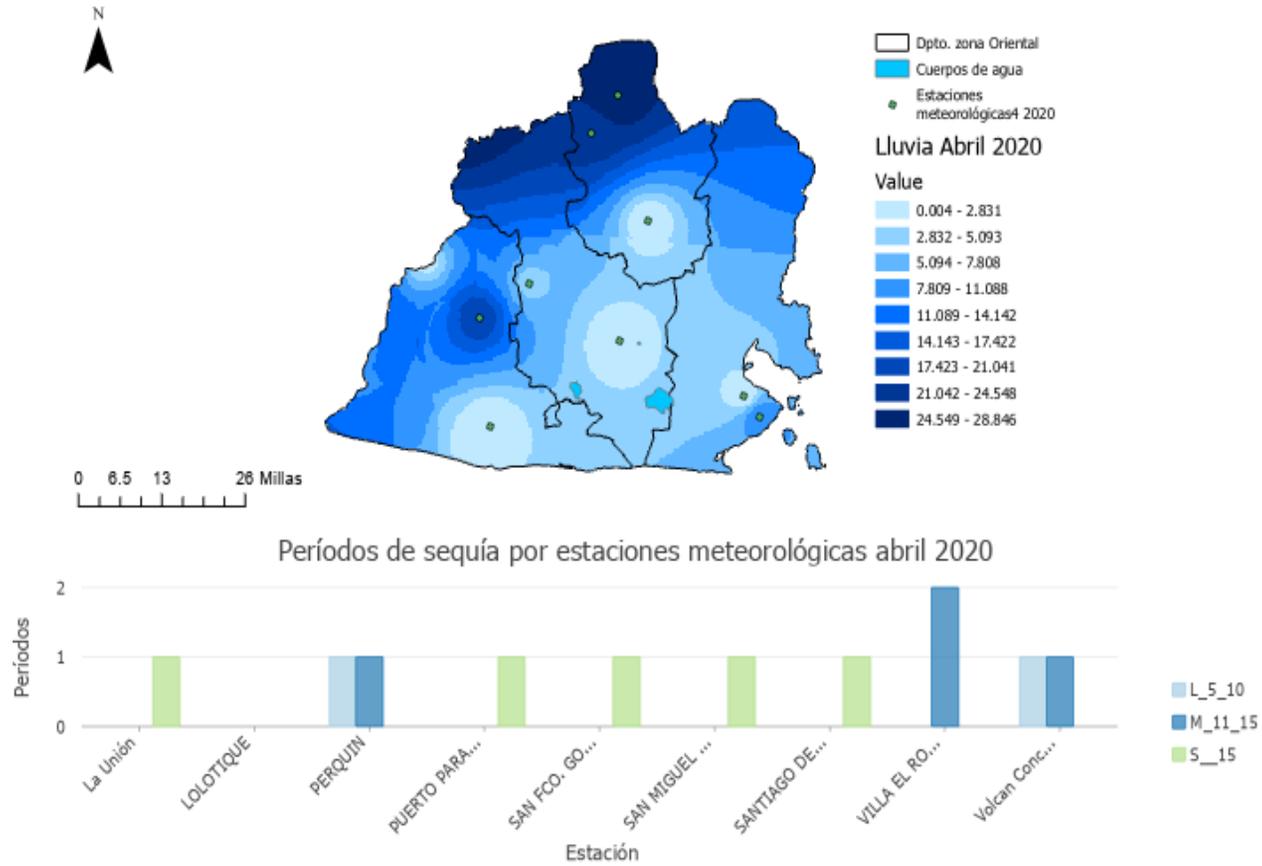
*Periodos de sequía entre abril y noviembre 2019 por estación meteorológica.*

Períodos de sequía (días)	La Unión	Lolotique	Perquin	Puerto Parada	San Fco. Gotera	San Miguel - UES	Santiago de María	Villa El Rosario	Volcán Conchagua ANP	Total
Leve 5 - 10	6	0	8	1	11	7	8	1	1	43
Medio 11 - 15	3	0	2	0	2	3	2	0	0	12
Severo > 15	6	0	4	0	4	5	5	0	0	24

## Datos de precipitación año 2020

**Figura 37.**

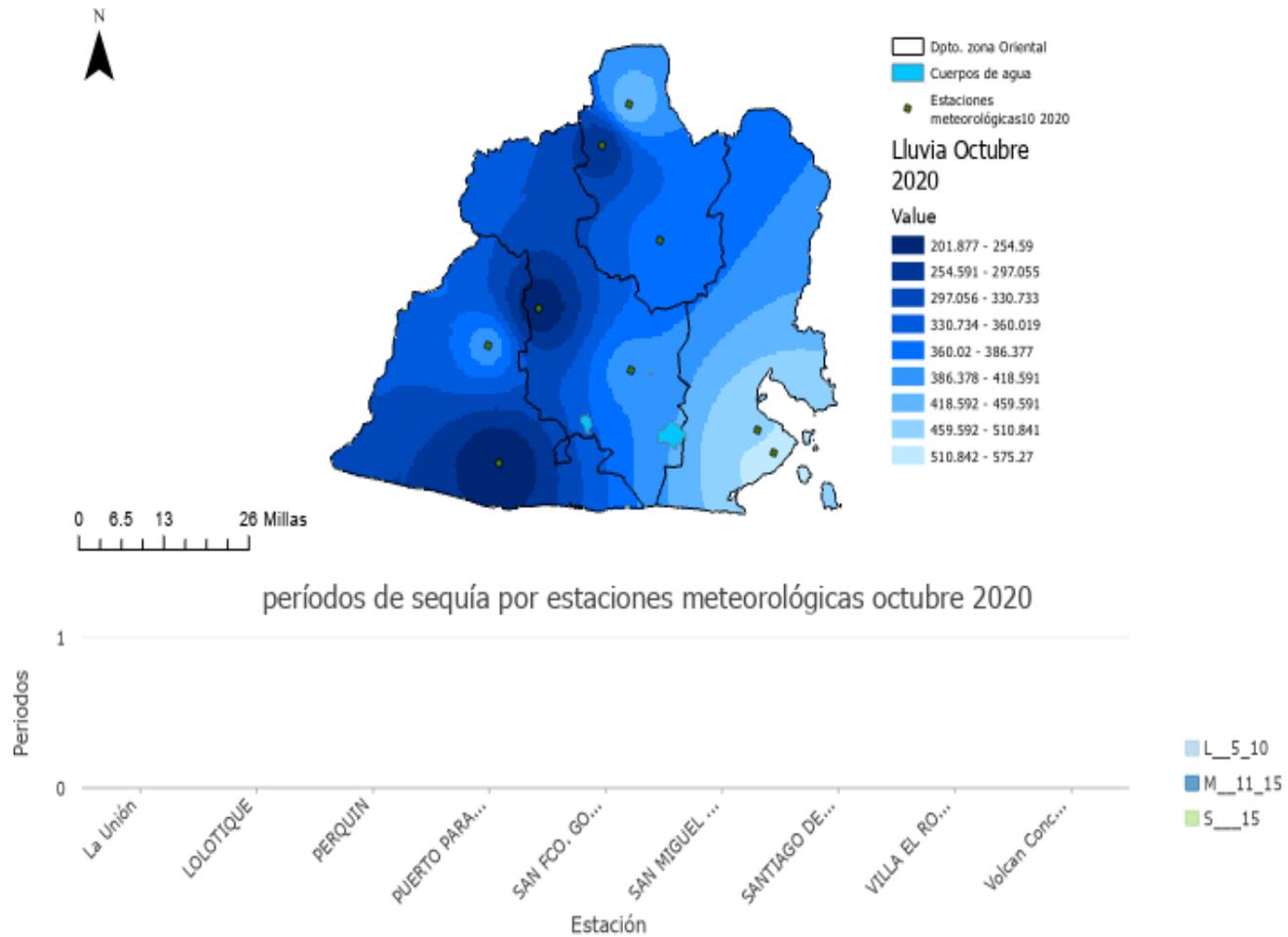
*Cantidad de lluvia y periodos secos en zona oriental, Abril 2020*



*Nota:* La imagen fue elaborada en software ArcGIS Pro. Fuente datos meteorológicos del MARN.

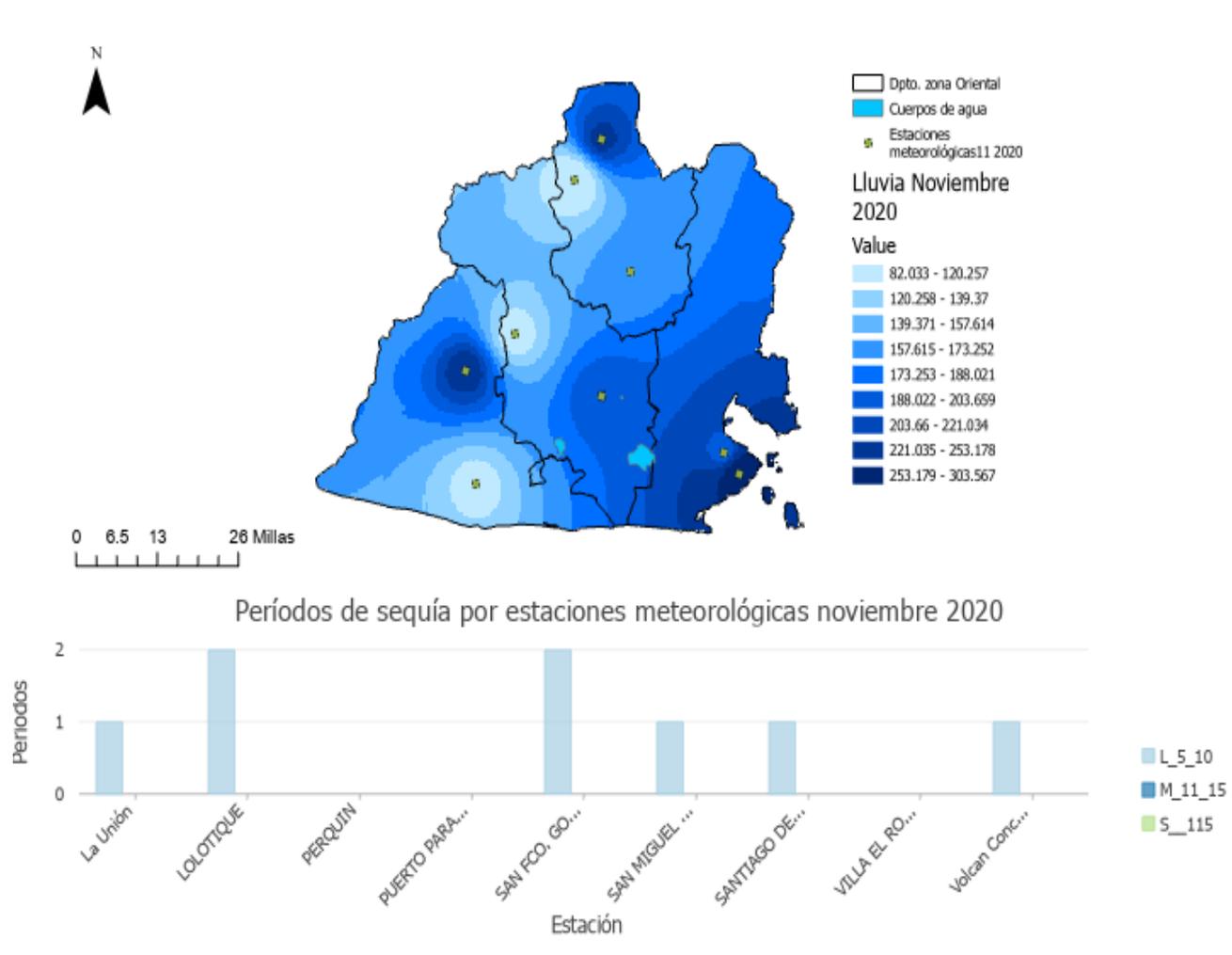
**Figura 38.**

*Cantidad de lluvia y periodos secos en zona oriental, octubre 2020*



*Nota:* La imagen fue elaborada en software ArcGIS Pro. Fuente datos meteorológicos del MARN.

**Figura 39.**  
*Cantidad de lluvia y periodos secos en zona oriental, noviembre 2020*



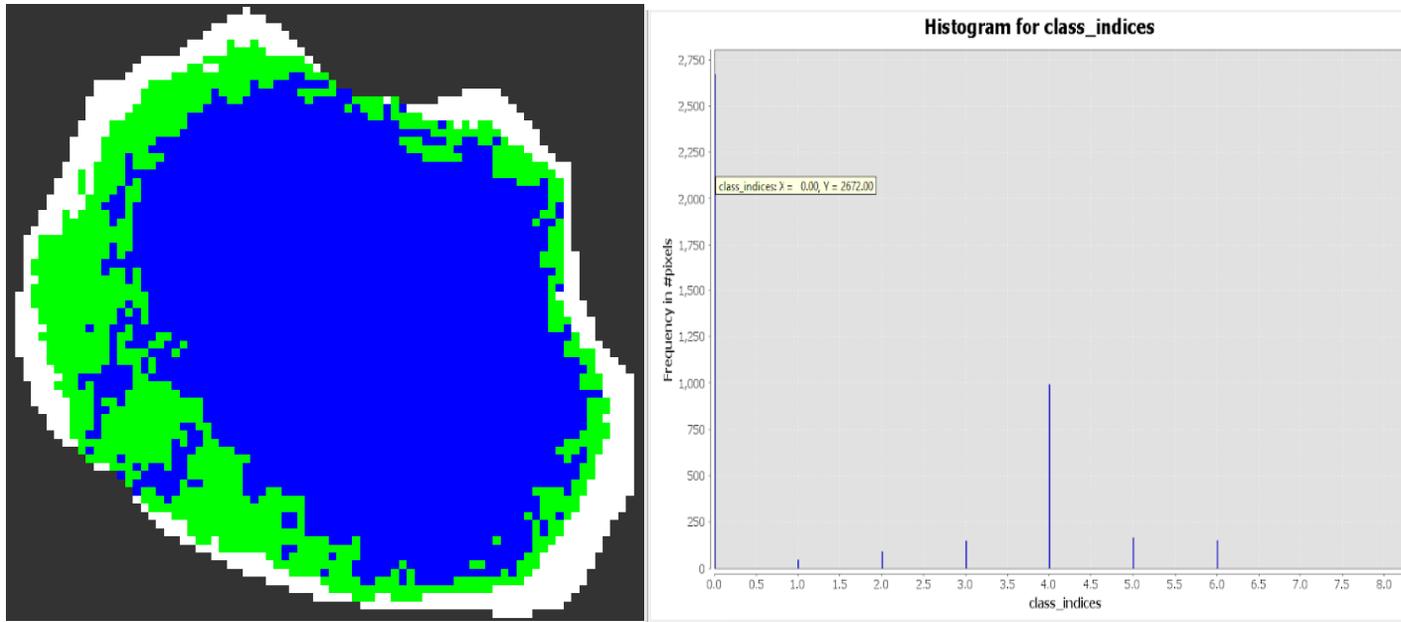
*Nota:* La imagen fue elaborada en software ArcGIS Pro. Fuente datos meteorológicos del MARN.

## Análisis de variación de superficie de agua 2020, utilizando SNAP.

### Laguna de Aramuaca.

#### Figura 40.

Mapa de delimitación de superficie de agua transición época seca a lluviosa, 2020, Laguna de Aramuaca



*Nota:* Superficie en color azul representa la superficie de agua y en color verde a la vegetación. El título y las leyendas del gráfico de la derecha fueron generadas por defecto en inglés por el software SNAP y se refieren a Histograma de clases de clasificación de superficie (agua y vegetación). Fuente de datos imágenes Sentinel 1.

#### Datos

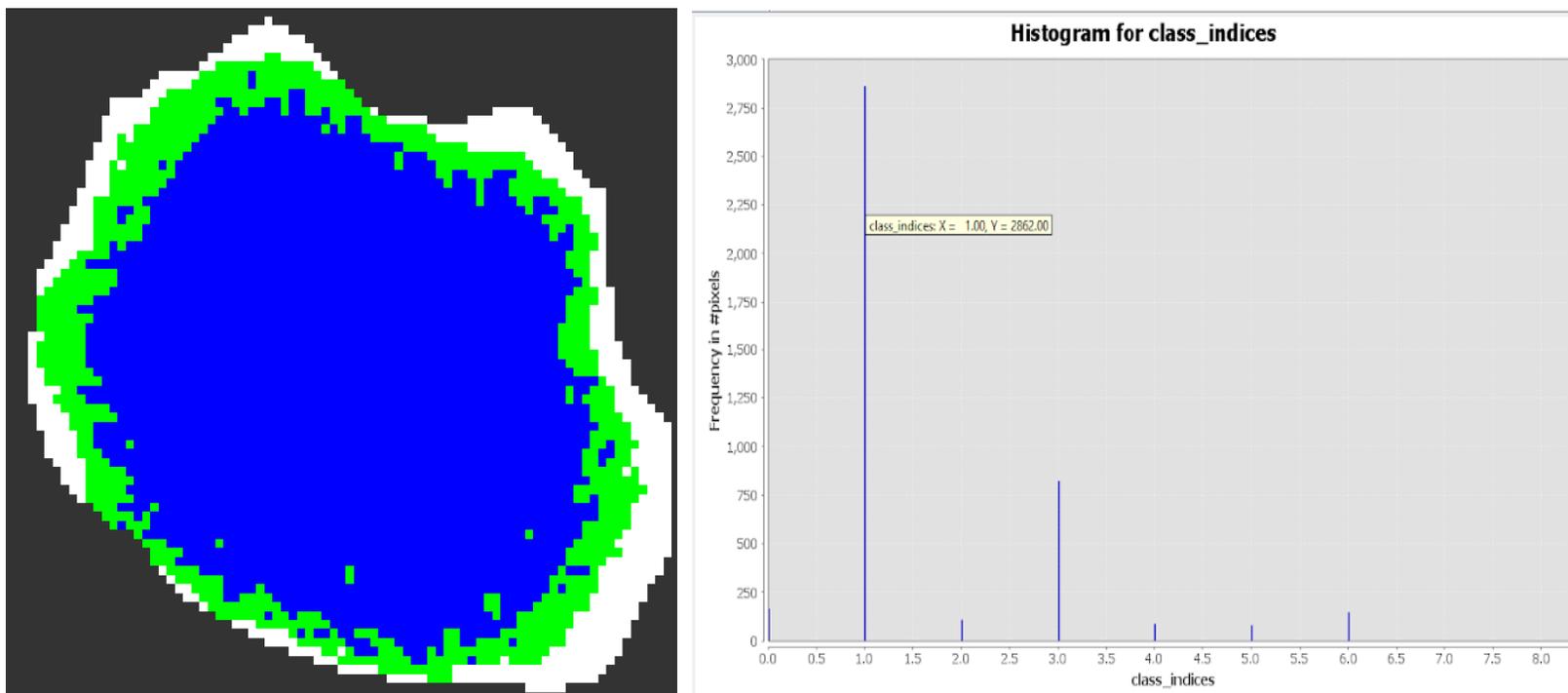
Fecha de análisis de imagen: **22 de enero de 2020**

Cantidad de píxeles  $2672 * 0.0001 = 0.27 \text{ Km}^2$  (superficie de agua)

Cantidad de píxeles  $994 * 0.0001 = 0.10 \text{ Km}^2$  (ninja y vegetación)

### Figura 41.

Mapa de delimitación de superficie de agua época lluviosa, 2020, Laguna de Aramuaca



*Nota:* Superficie en color azul representa la superficie de agua y en color verde a la vegetación. El título y las leyendas del gráfico de la derecha fueron generadas por defecto en inglés por el software SNAP y se refieren a Histograma de clases de clasificación de superficie (agua y vegetación). Fuente de datos imágenes Sentinel 1.

### Datos

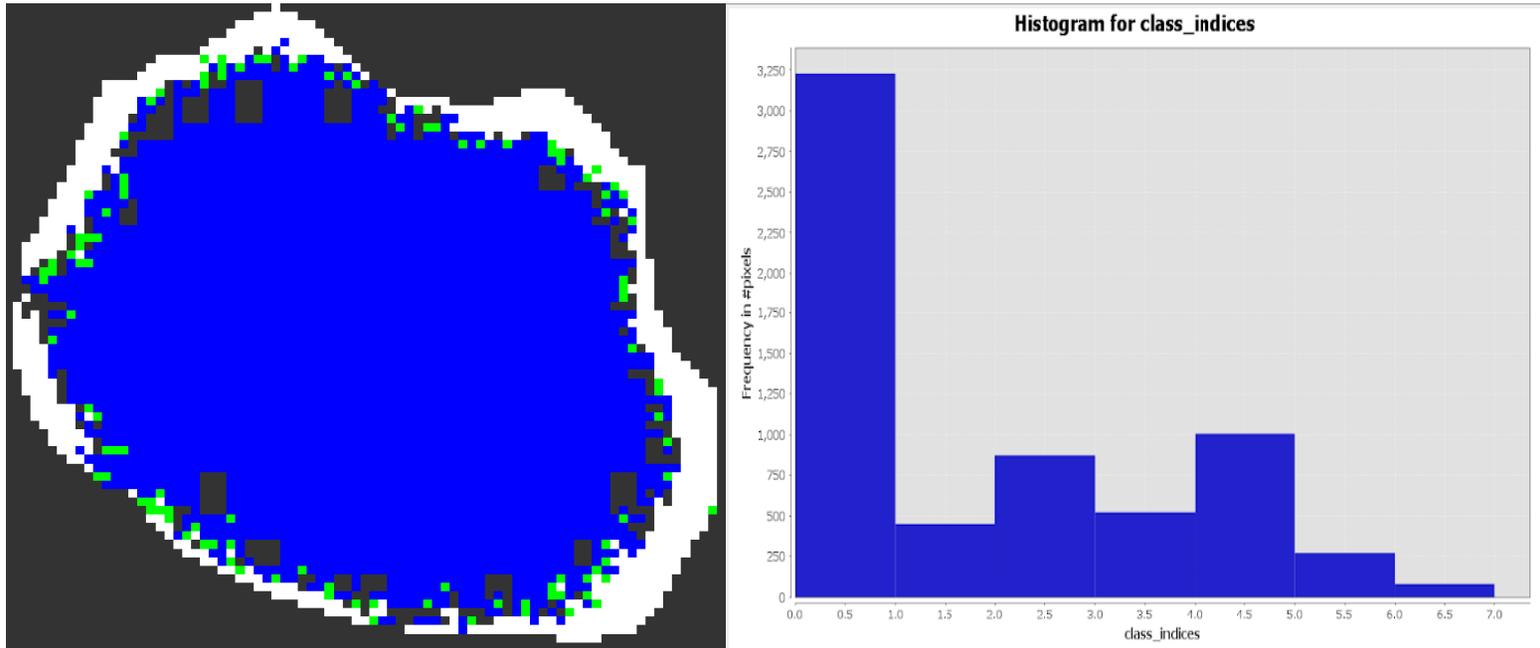
Fecha de análisis de imagen: **20 de septiembre de 2020**

Cantidad de píxeles  $3188 * 0.0001 = 0.32 \text{ Km}^2$  (superficie de agua)

Cantidad de píxeles  $112 * 0.0001 = 0.01 \text{ Km}^2$  (ninja y vegetación)

**Figura 42.**

*Mapa de delimitación de superficie de agua transición época lluviosa a seca, 2020, Laguna de Aramuaca*



*Nota:* Superficie en color azul representa la superficie de agua y en color verde a la vegetación. El título y las leyendas del gráfico de la derecha fueron generados por defecto en inglés por el software SNAP y se refieren a Histograma de clases de clasificación de superficie (agua y vegetación). Fuente de datos imágenes Sentinel 1.

**Datos**

Fecha de análisis de imagen: **27 de diciembre de 2020**

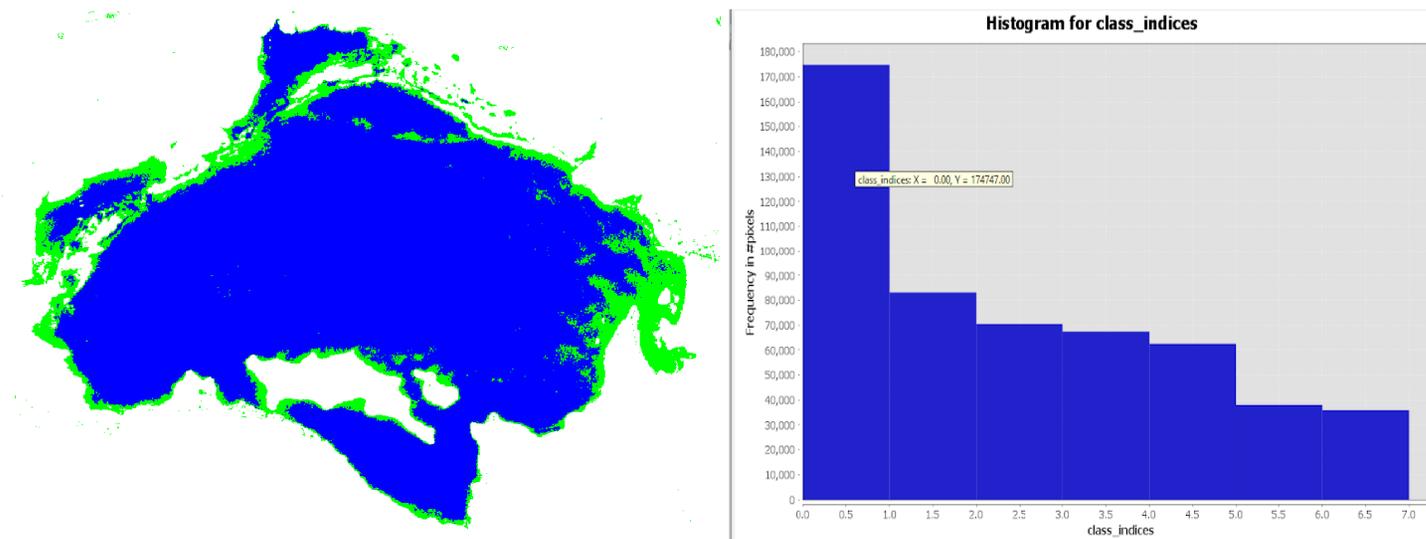
Cantidad de pixeles  $3188 * 0.0001 = 0.32 \text{ Km}^2$  (superficie de agua)

Cantidad de pixeles  $112 * 0.0001 = 0.01 \text{ Km}^2$  (ninja y vegetación)

## Laguna de Olomega.

### Figura 43.

Mapa de delimitación de superficie de agua transición época seca a lluviosa, 2020, Laguna de Olomega



*Nota:* Superficie en color azul representa la superficie de agua y en color verde a la vegetación. El título y las leyendas del gráfico de la derecha fueron generadas por defecto en inglés por el software SNAP y se refieren a Histograma de clases de clasificación de superficie (agua y vegetación). Fuente de datos imágenes Sentinel 1.

### Datos

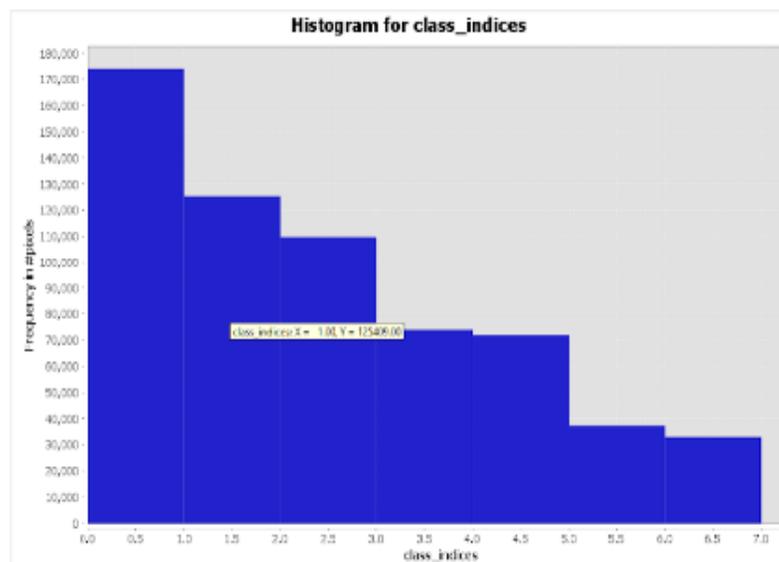
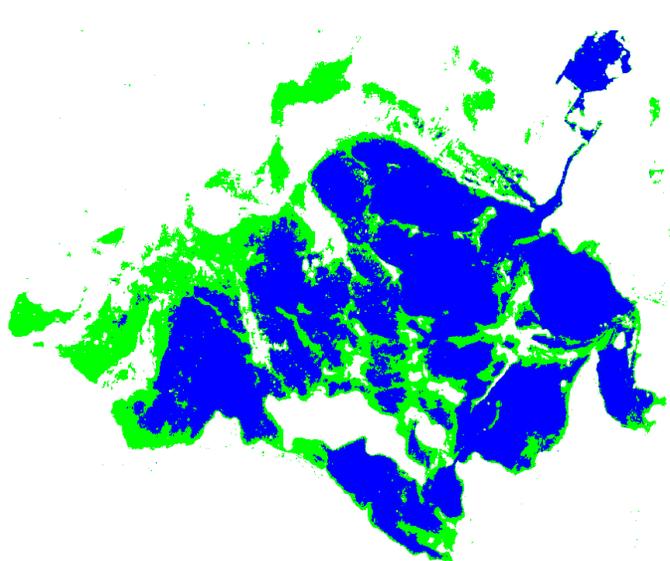
Fecha de análisis de imagen: **22 de enero de 2020**

Cantidad de píxeles  $174747 * 0.0001 = 17.47 \text{ Km}^2$  (superficie de agua)

Cantidad de píxeles  $35861 * 0.0001 = 3.59 \text{ Km}^2$  (ninja y vegetación)

#### Figura 44.

Mapa de delimitación de superficie de agua época lluviosa, 2020, Laguna de Olomega



*Nota:* Superficie en color azul representa la superficie de agua y en color verde a la vegetación. El título y las leyendas del gráfico de la derecha fueron generadas por defecto en inglés por el software SNAP y se refieren a Histograma de clases de clasificación de superficie (agua y vegetación). Fuente de datos imágenes Sentinel 1.

#### Datos

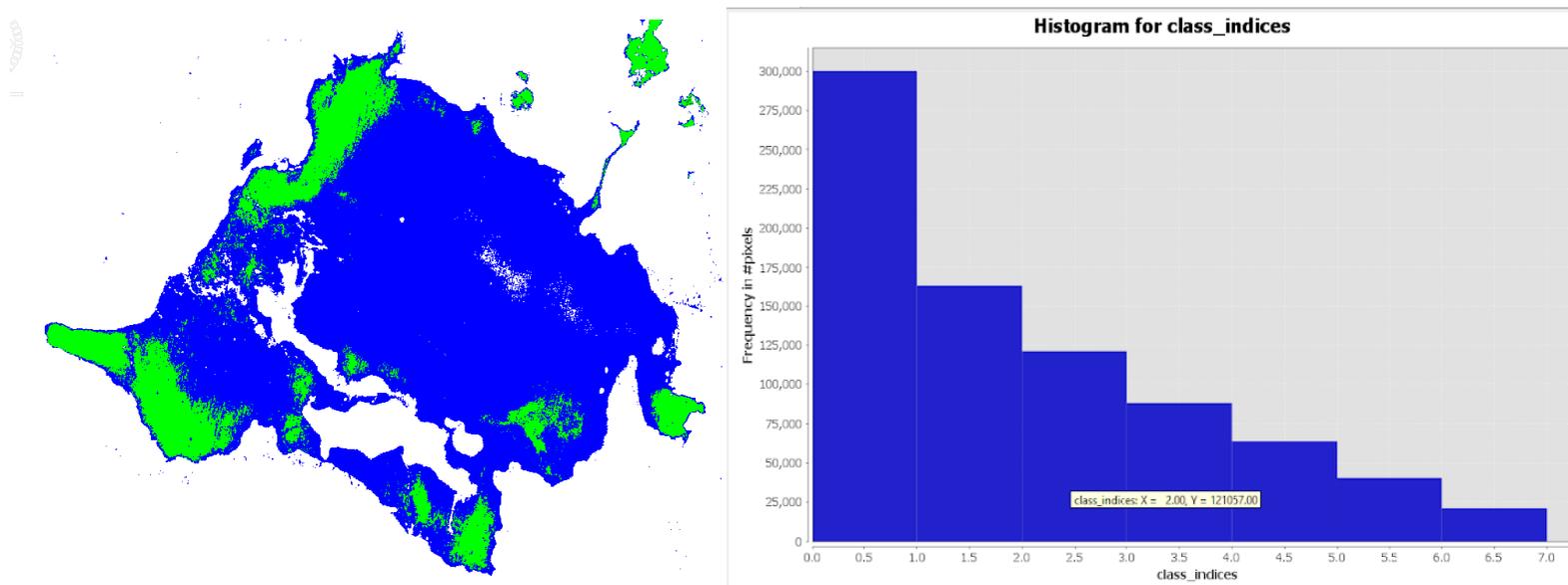
Fecha de análisis de imagen: **23 de septiembre de 2020**

Cantidad de píxeles  $125409 * 0.0001 = 12.54 \text{ Km}^2$  (superficie de agua)

Cantidad de píxeles  $73985 * 0.0001 = 7.40 \text{ Km}^2$  (ninja y vegetación)

### Figura 45.

Mapa de delimitación de superficie de agua transición época lluviosa a seca, 2020, Laguna de Olomega



*Nota:* Superficie en color azul representa la superficie de agua y en color verde a la vegetación. El título y las leyendas del gráfico de la derecha fueron generadas por defecto en inglés por el software SNAP y se refieren a Histograma de clases de clasificación de superficie (agua y vegetación). Fuente de datos imágenes Sentinel 1.

### Datos

Fecha de análisis de imagen: **27 de diciembre de 2020**

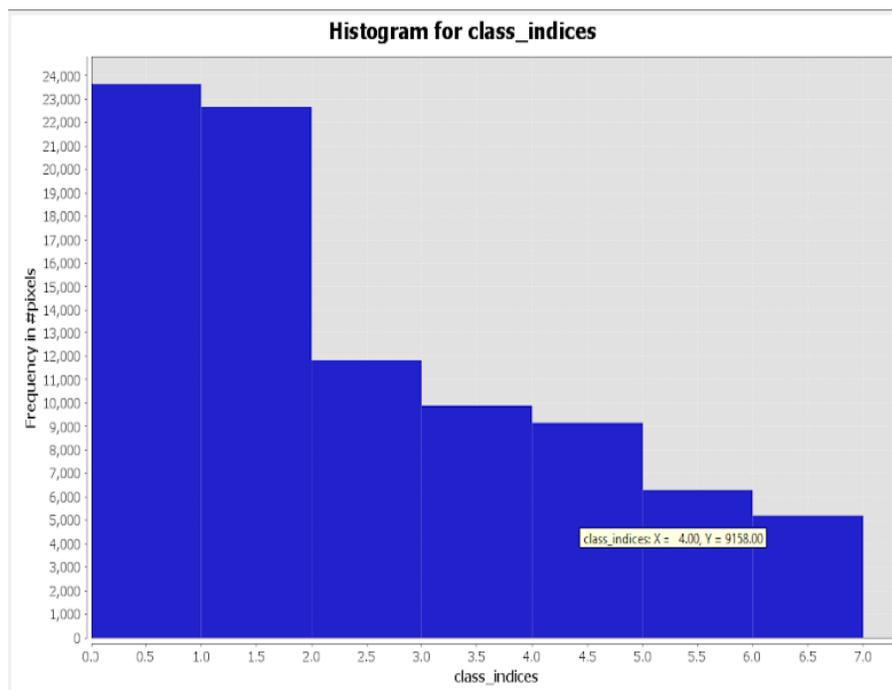
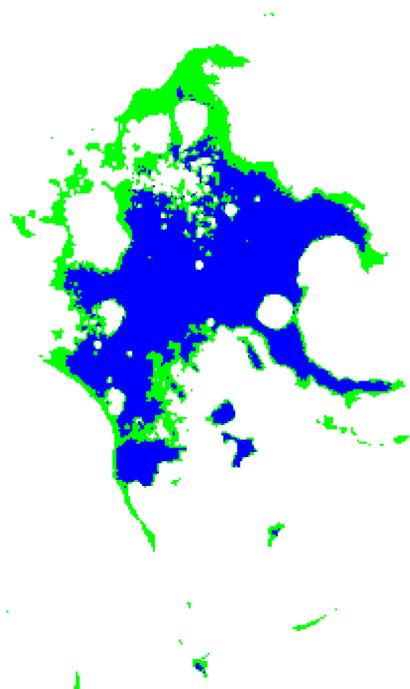
Cantidad de píxeles  $(121057 + 63701) * 0.0001 = 18.48 \text{ Km}^2$  (superficie de agua)

Cantidad de píxeles  $40424 * 0.0001 = 4.04 \text{ Km}^2$  (ninja y vegetación)

## Laguna de Jocotal.

**Figura 46.**

*Mapa de delimitación de superficie de agua transición época seca a lluviosa, 2020, Laguna El Jocotal*



*Nota:* Superficie en color azul representa la superficie de agua y en color verde a la vegetación. El título y las leyendas del gráfico de la derecha fueron generadas por defecto en inglés por el software SNAP y se refieren a Histograma de clases de clasificación de superficie (agua y vegetación). Fuente de datos imágenes Sentinel 1.

### Datos

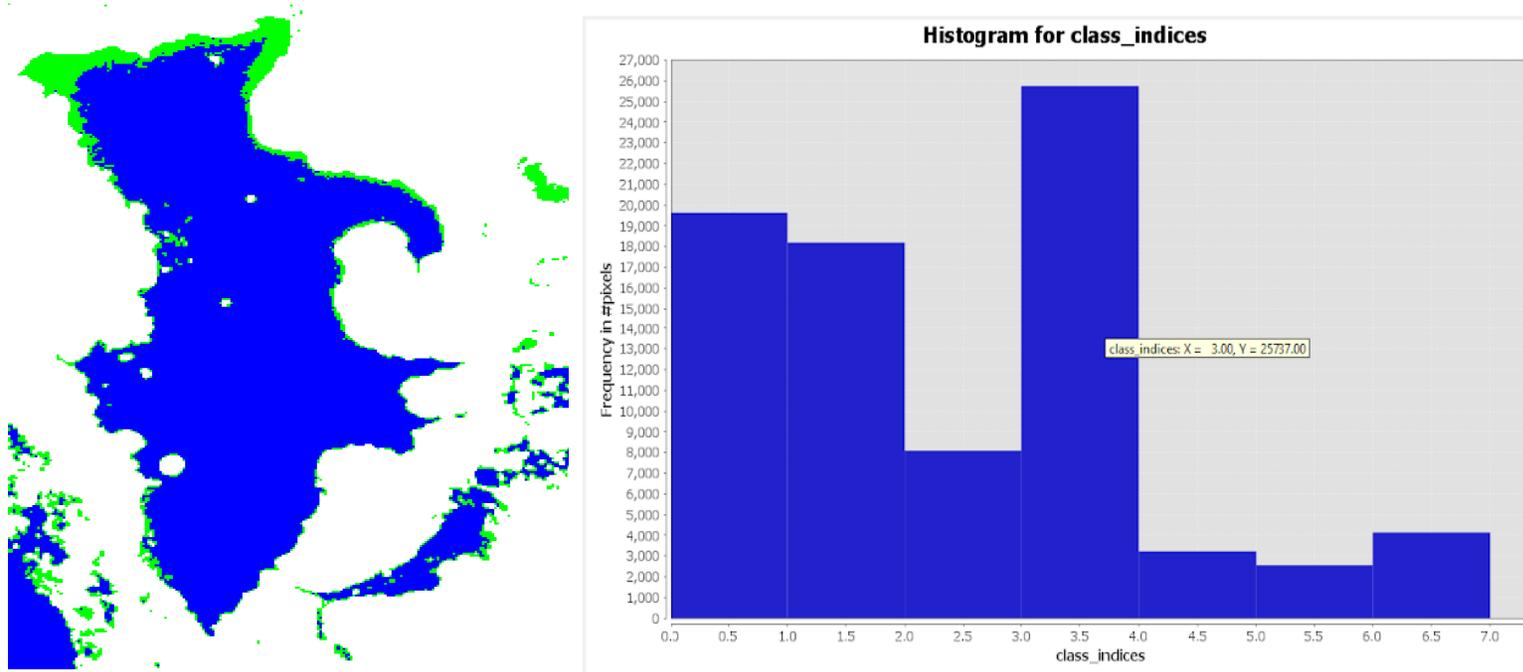
Fecha de análisis de imagen: **22 de enero de 2020**

Cantidad de píxeles 9158 \* 0.0001 = **0.92 Km<sup>2</sup> (superficie de agua)**

Cantidad de píxeles 5198 \* 0.0001 = **0.52 Km<sup>2</sup> (ninja y vegetación)**

**Figura 47.**

*Mapa de delimitación de superficie de agua época lluviosa, 2020, Laguna El Jocotal*



*Nota:* Superficie en color azul representa la superficie de agua y en color verde a la vegetación. El título y las leyendas del gráfico de la derecha fueron generadas por defecto en inglés por el software SNAP y se refieren a Histograma de clases de clasificación de superficie (agua y vegetación). Fuente de datos imágenes Sentinel 1.

### Datos

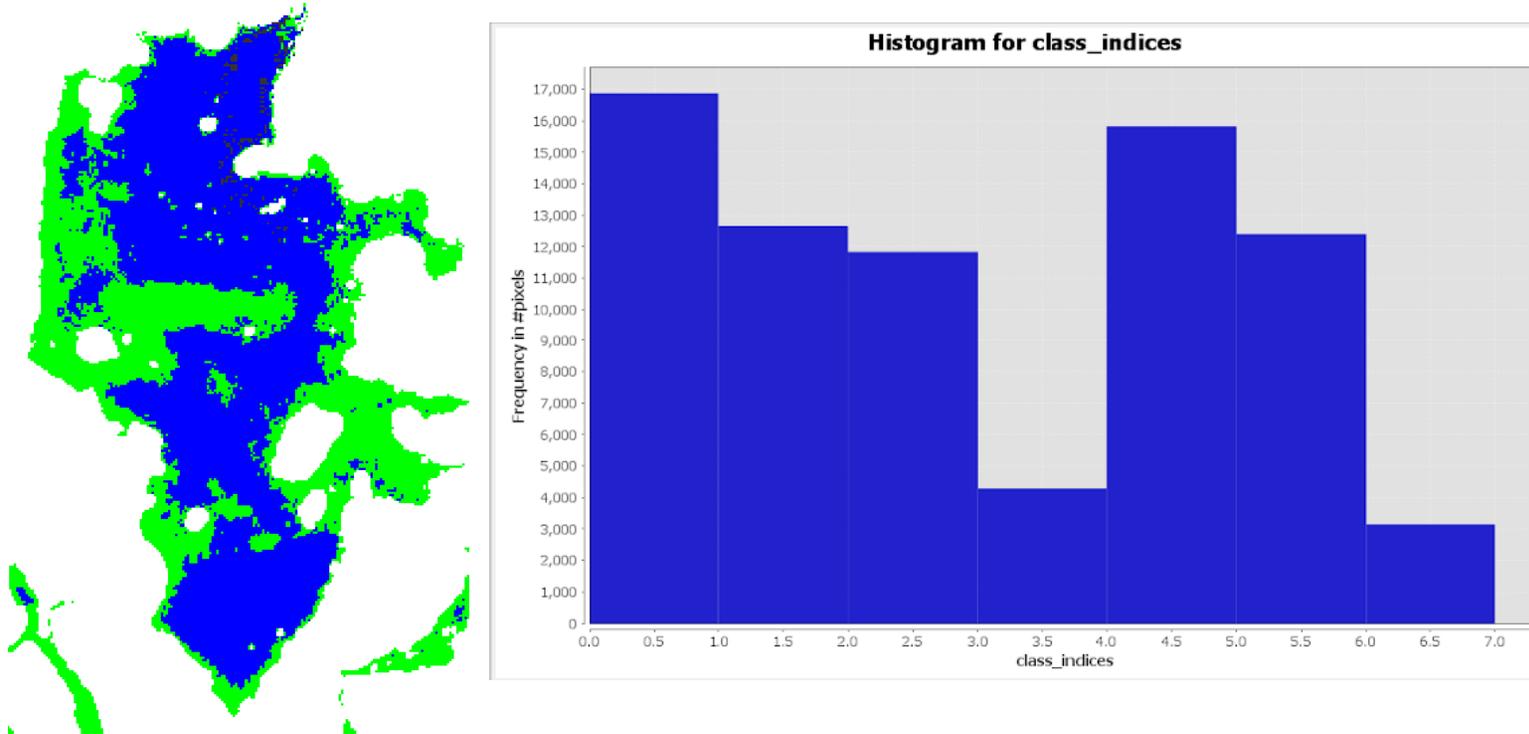
Fecha de análisis de imagen: **28 de septiembre de 2020**

Cantidad de píxeles  $25737 * 0.0001 = 2.57 \text{ Km}^2$  (superficie de agua)

Cantidad de píxeles  $4128 * 0.0001 = 0.41 \text{ Km}^2$  (ninja y vegetación)

**Figura 48.**

*Mapa de delimitación de superficie de agua transición época lluviosa a seca, 2020, Laguna El Jocotal*



*Nota:* Superficie en color azul representa la superficie de agua y en color verde a la vegetación. El título y las leyendas del gráfico de la derecha fueron generadas por defecto en inglés por el software SNAP y se refieren a Histograma de clases de clasificación de superficie (agua y vegetación). Fuente de datos imágenes Sentinel 1.

### Datos

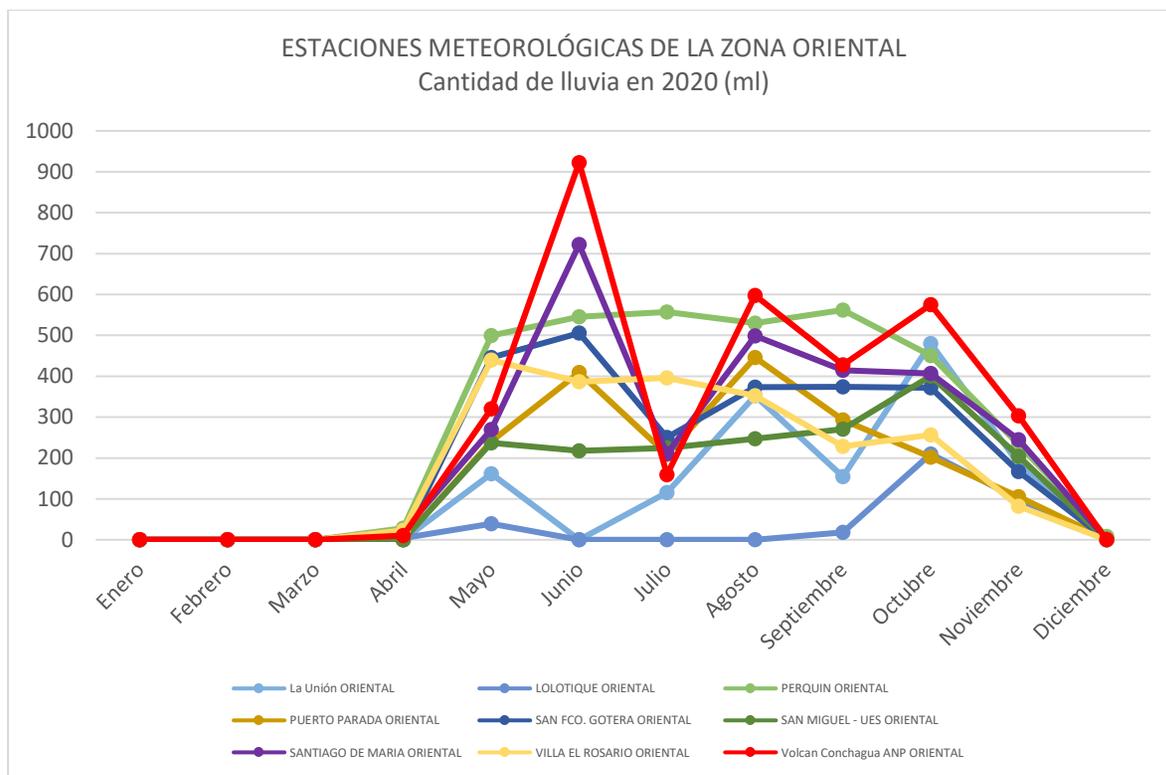
Fecha de análisis de imagen: **27 de diciembre de 2020**

Cantidad de píxeles  $15826 * 0.0001 = 1.58 \text{ Km}^2$  (superficie de agua)

Cantidad de píxeles  $12403 * 0.0001 = 1.24 \text{ Km}^2$  (ninja y vegetación)

**Figura 49.**

*Lluvia acumulada. Por cada estación meteorológica de la Zona Oriental, 2020*



**Tabla 5.**

*Lluvia acumulada en Zona Oriental. 2020*

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Lluvia por mes (mm)	0	0	0	87	2653.9	3708.3	2122.6	3396.9	2743.1	3352.6	1626.6	11

**Figura 50.**

*Lluvia acumulada de todas las estaciones de la Zona Oriental, 2020*



En el año 2020, el periodo de la temporada lluviosa se prolongó respecto a los años antes analizados y comprendió desde en abril hasta noviembre ; sin embargo, fue en julio cuando se registró una disminución de precipitación acumulada. Se registro un promedio de 13 días sin lluvias aproximadamente; entre los meses de abril y noviembre. La cantidad total de lluvia registrada en 2020 fue de 19,702.0 mm.

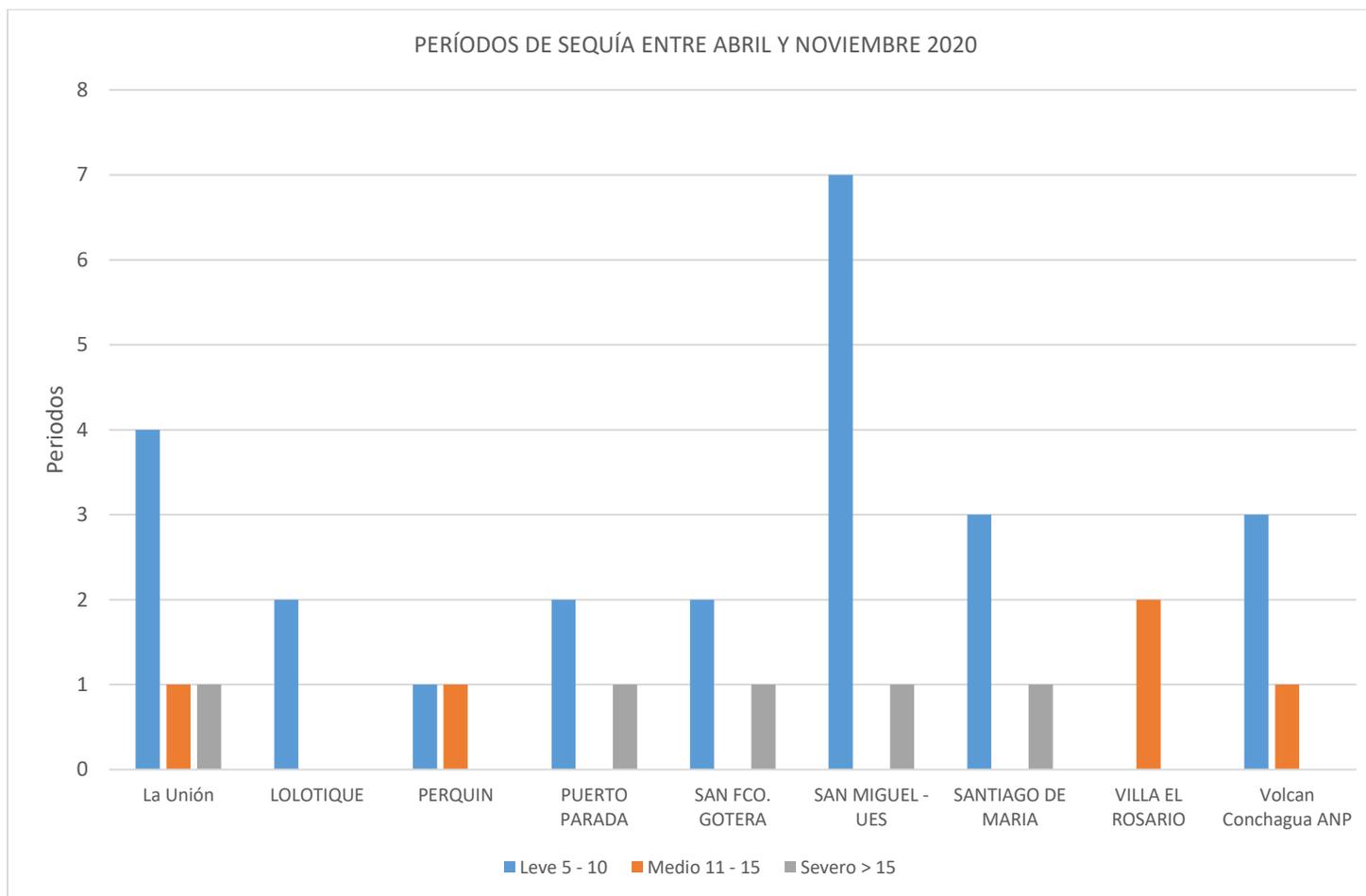
**Tabla 6.**

*Periodos de sequía entre abril y noviembre 2020 por estación meteorológica.*

Períodos	La Unión	Lolotique	Perquin	Puerto Parada	San Fco. Gotera	San Miguel - UES	Santiago de María	Villa El Rosario	Volcán Conchagua ANP	Total
Leve 5 - 10	4	2	1	2	2	7	3	0	3	24
Medio 11 - 15	1	0	1	0	0	0	0	2	1	5
Severo > 15	1	0	0	1	1	1	1	0	0	5

**Figura 51.**

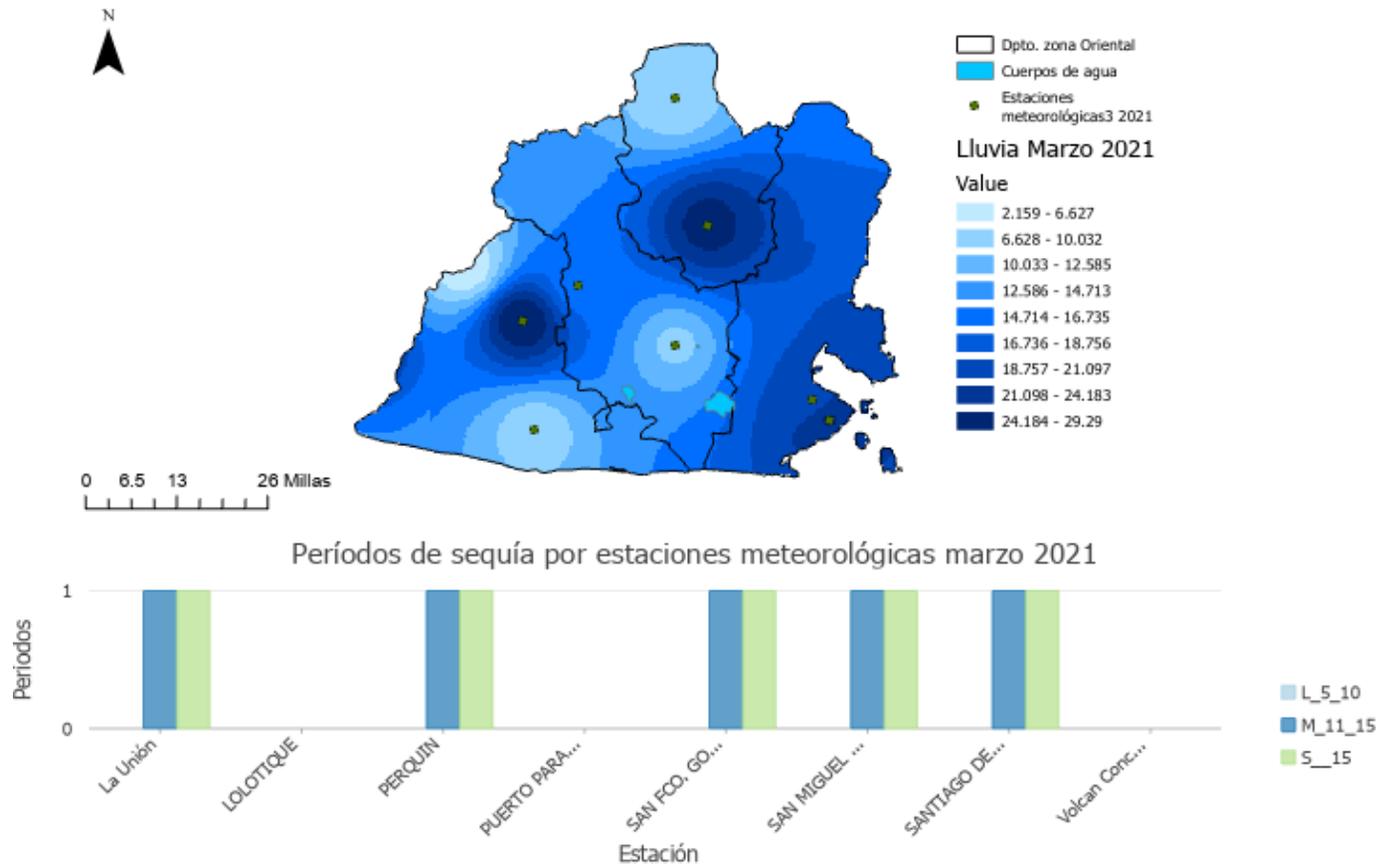
*Periodos secos en la zona oriental, 2020*



## Datos de precipitación año 2021

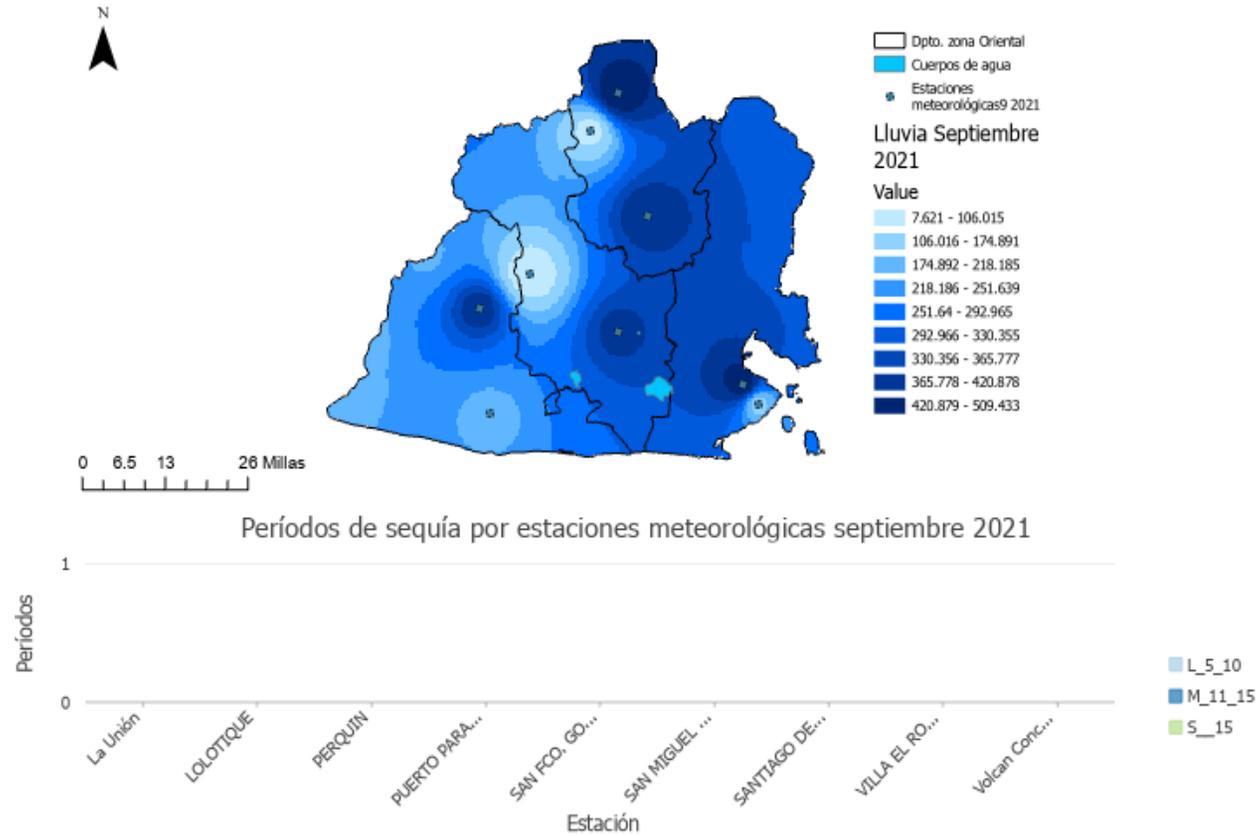
**Figura 52.**

*Cantidad de lluvia y periodos secos en zona oriental, marzo 2021*



*Nota:* La imagen fue elaborada en software ArcGIS Pro. Fuente datos meteorológicos del MARN.

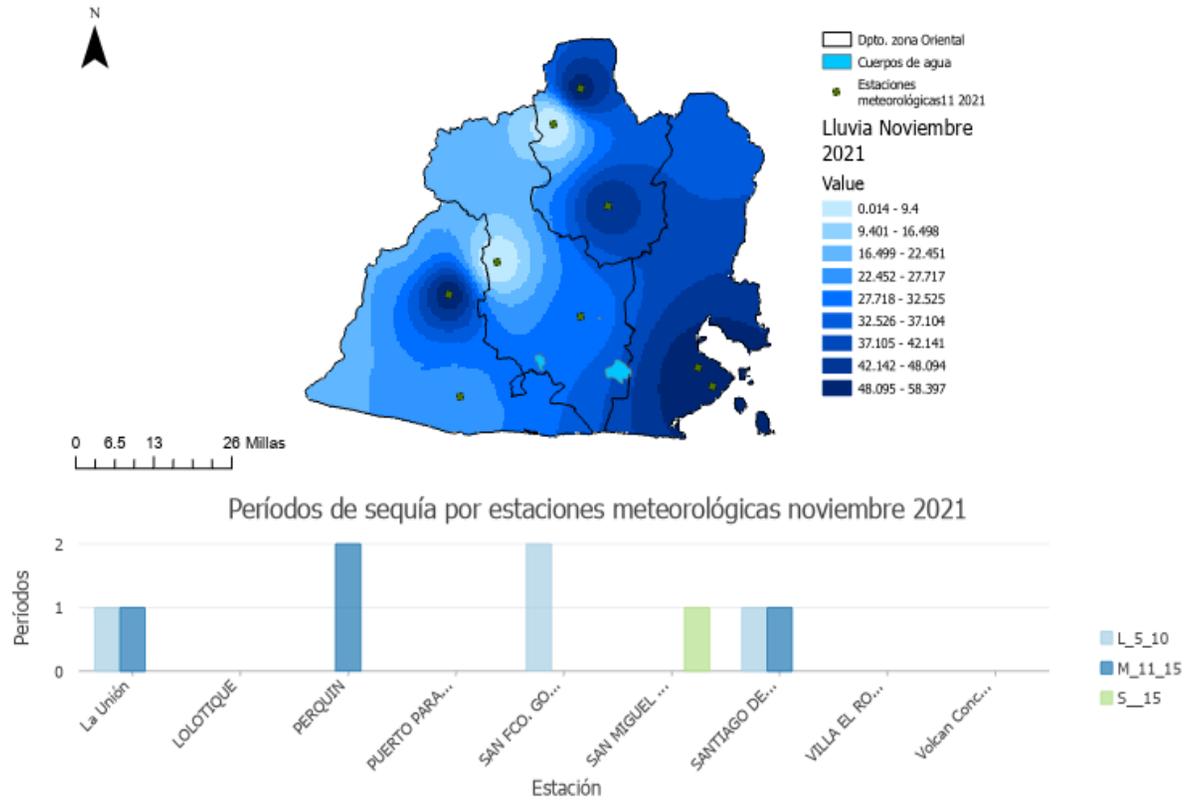
**Figura 53.**  
*Cantidad de lluvia y periodos secos en zona oriental, septiembre 2021*



*Nota:* La imagen fue elaborada en software ArcGIS Pro. Fuente datos meteorológicos del MARN.

**Figura 54.**

*Cantidad de lluvia y periodos secos en zona oriental, noviembre 2021*



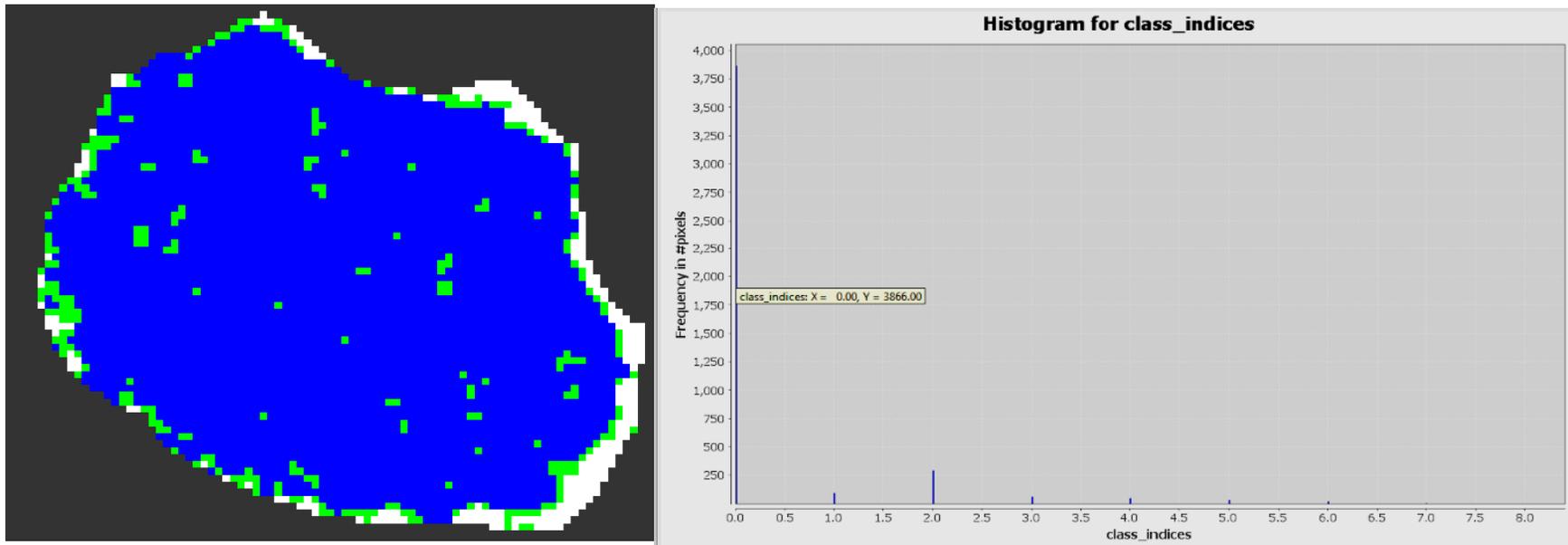
*Nota:* La imagen fue elaborada en software ArcGIS Pro. Fuente datos meteorológicos del MARN.

## Análisis de variación de superficie de agua 2021, utilizando SNAP.

### Laguna de Aramuaca.

#### Figura 55

. Mapa de delimitación de superficie de agua transición época seca a lluviosa, 2021, Laguna Aramuaca



*Nota:* Superficie en color azul representa la superficie de agua y en color verde a la vegetación. El título y las leyendas del gráfico de la derecha fueron generadas por defecto en inglés por el software SNAP y se refieren a Histograma de clases de clasificación de superficie (agua y vegetación). Fuente de datos imágenes Sentinel 1.

#### Datos

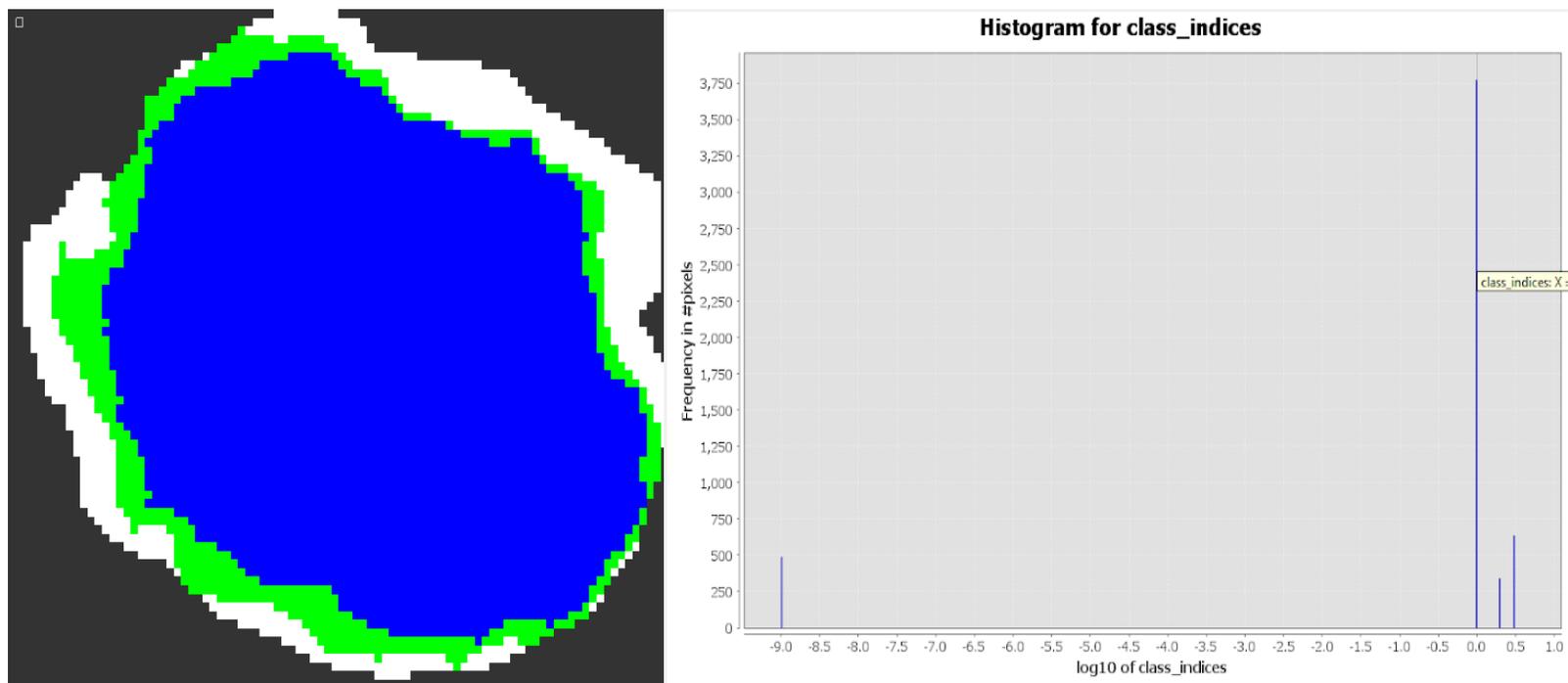
Fecha de análisis de imagen : **30 de enero de 2021**

Cantidad de pixeles  $3866 * 0.0001 = 0.39 \text{ Km}^2$  (Superficie agua)

Cantidad de pixeles  $292 * 0.0001 = 0.03 \text{ Km}^2$  (ninja o vegetación )

### Figura 56.

Mapa de delimitación de superficie de agua época lluviosa, 2021, Laguna de Aramuaca



*Nota:* Superficie en color azul representa la superficie de agua y en color verde a la vegetación. El título y las leyendas del gráfico de la derecha fueron generadas por defecto en inglés por el software SNAP y se refieren a Histograma de clases de clasificación de superficie (agua y vegetación). Fuente de datos imágenes Sentinel 1.

### Datos

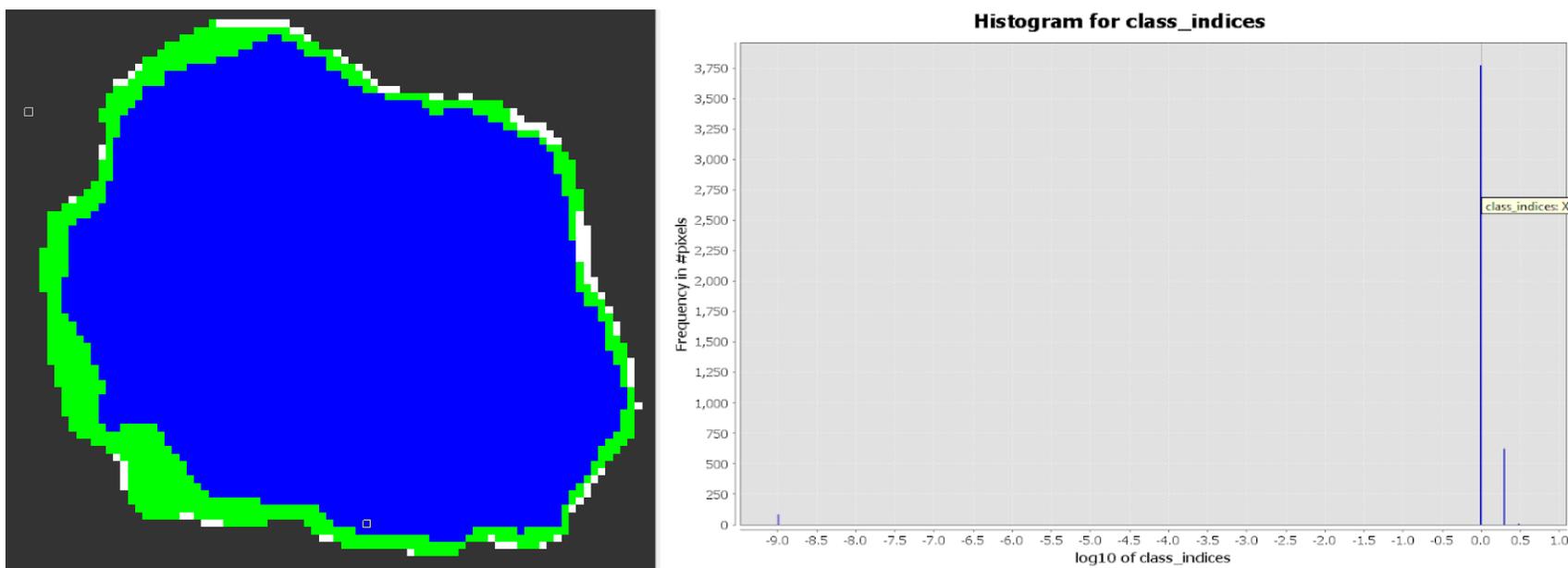
Fecha de análisis de imagen: **20 de diciembre de 2021**

Cantidad de píxeles  $3772 * 0.0001 = 0.38 \text{ Km}^2$  (Superficie agua)

Cantidad de píxeles  $625 * 0.0001 = 0.06 \text{ Km}^2$  (ninja y vegetación)

### Figura 57.

Mapa de delimitación de superficie de agua transición época lluviosa a seca, 2020, Laguna de Aramuaca



*Nota:* Superficie en color azul representa la superficie de agua y en color verde a la vegetación. El título y las leyendas del gráfico de la derecha fueron generadas por defecto en ingles por el software SNAP y se refieren a Histograma de clases de clasificación de superficie (agua y vegetación). Fuente de datos imágenes Sentinel 1.

### Datos

Fecha de análisis de imagen: **20 de diciembre de 2021**

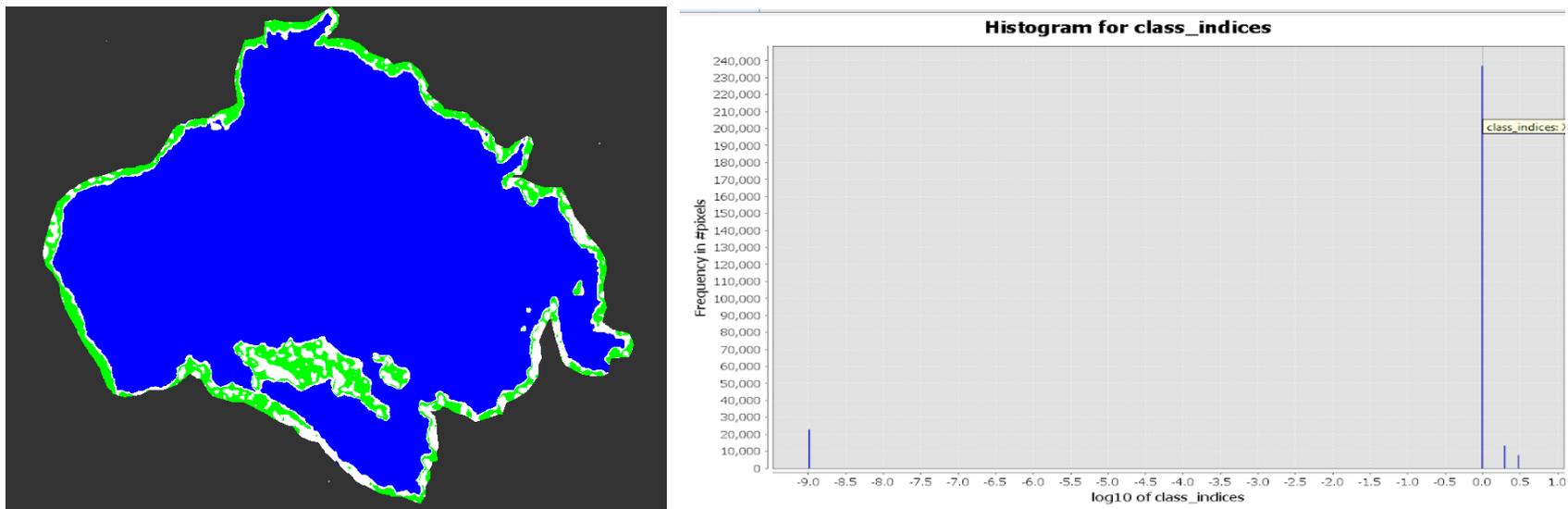
Cantidad de pixeles  $3772 * 0.0001 = 0.38 \text{ Km}^2$  (Superficie agua)

Cantidad de pixeles  $625 * 0.0001 = 0.06 \text{ Km}^2$  (ninja y vegetación)

## Laguna de Olomega

### Figura 58.

Mapa de delimitación de superficie de agua transición época seca a lluviosa, 2021, Laguna de Olomega



*Nota:* Superficie en color azul representa la superficie de agua y en color verde a la vegetación. El título y las leyendas del gráfico de la derecha fueron generadas por defecto en ingles por el software SNAP y se refieren a Histograma de clases de clasificación de superficie (agua y vegetación). Fuente de datos imágenes Sentinel 1.

### Datos

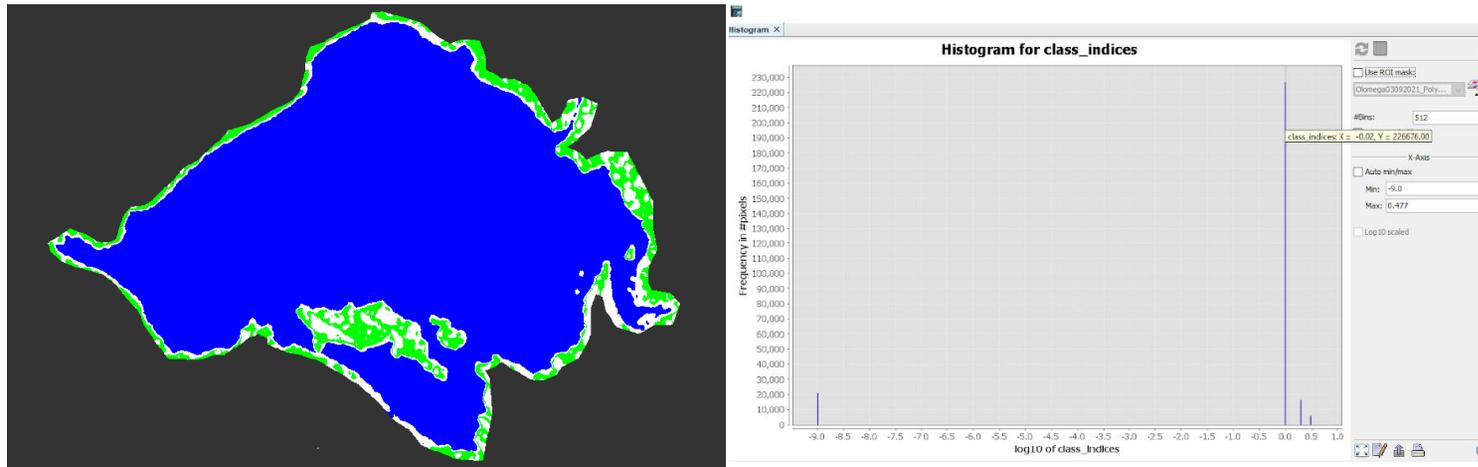
Fecha de análisis de imagen: **30 de enero de 2021**

Cantidad de pixeles  $236912 * 0.0001 = 23.69 \text{ Km}^2$  (superficie de agua)

Cantidad de pixeles  $22830 * 0.0001 = 2.28 \text{ Km}^2$  (ninja, vegetación)

### Figura 59.

Mapa de delimitación de superficie de agua época lluviosa, 2021, Laguna de Olomega



*Nota:* Superficie en color azul representa la superficie de agua y en color verde a la vegetación. El título y las leyendas del gráfico de la derecha fueron generadas por defecto en inglés por el software SNAP y se refieren a Histograma de clases de clasificación de superficie (agua y vegetación). Fuente de datos imágenes Sentinel 1.

### Datos

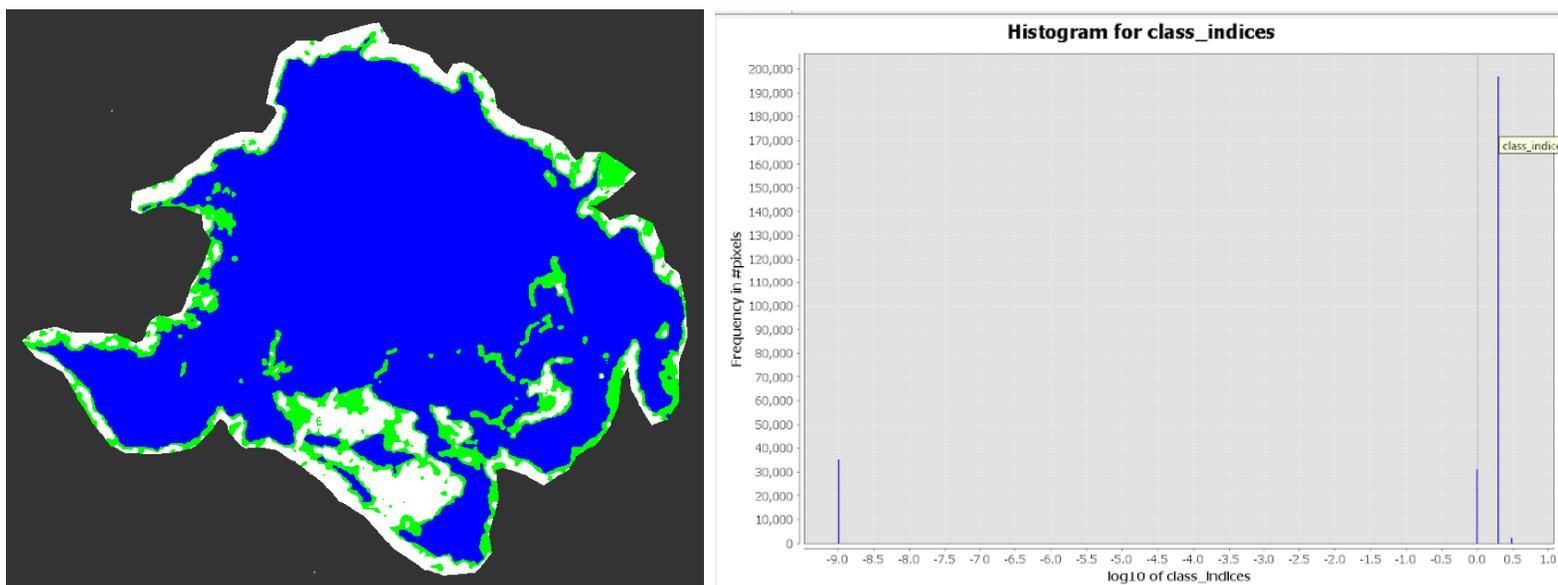
Fecha de análisis de imagen: **03 de septiembre de 2021**

Cantidad de píxeles  $226676 * 0.0001 = 22.67 \text{ Km}^2$  (superficie de agua)

Cantidad de píxeles  $21027 * 0.0001 = 2.10 \text{ Km}^2$  (ninja, vegetación)

### Figura 60.

Mapa de delimitación de superficie de agua transición época lluviosa a seca, 2021, Laguna de Olomega



*Nota:* Superficie en color azul representa la superficie de agua y en color verde a la vegetación. El título y las leyendas del gráfico de la derecha fueron generadas por defecto en inglés por el software SNAP y se refieren a Histograma de clases de clasificación de superficie (agua y vegetación). Fuente de datos imágenes Sentinel 1.

### Datos

Fecha de análisis de imagen: **12 de diciembre de 2021**

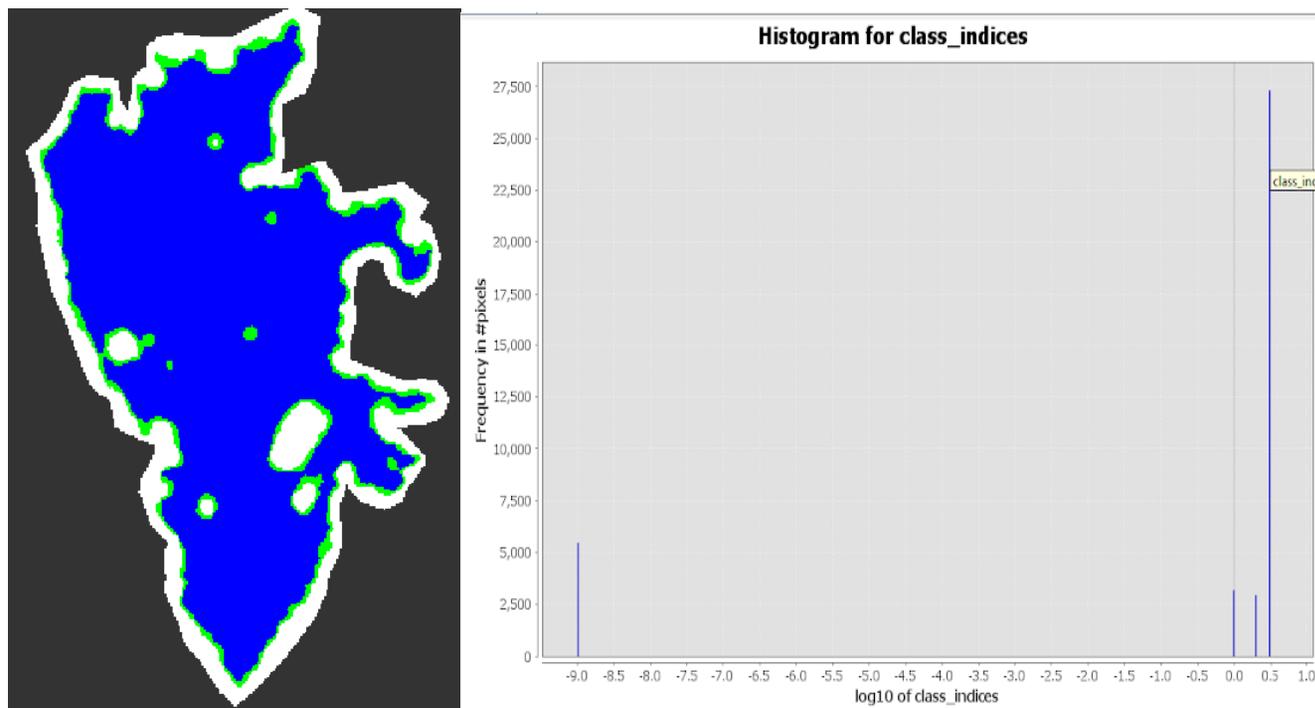
Cantidad de píxeles  $196897 * 0.0001 = 19.69 \text{ Km}^2$  (superficie de agua)

Cantidad de píxeles  $31174 * 0.0001 = 3.12 \text{ Km}^2$  (ninja, vegetación)

## Laguna de Jocotal

**Figura 61.**

*Mapa de delimitación de superficie de agua transición época seca a lluviosa, 2021, Laguna El Jocotal*



*Nota:* Superficie en color azul representa la superficie de agua y en color verde a la vegetación. El título y las leyendas del gráfico de la derecha fueron generadas por defecto en inglés por el software SNAP y se refieren a Histograma de clases de clasificación de superficie (agua y vegetación). Fuente de datos imágenes Sentinel 1.

### Datos

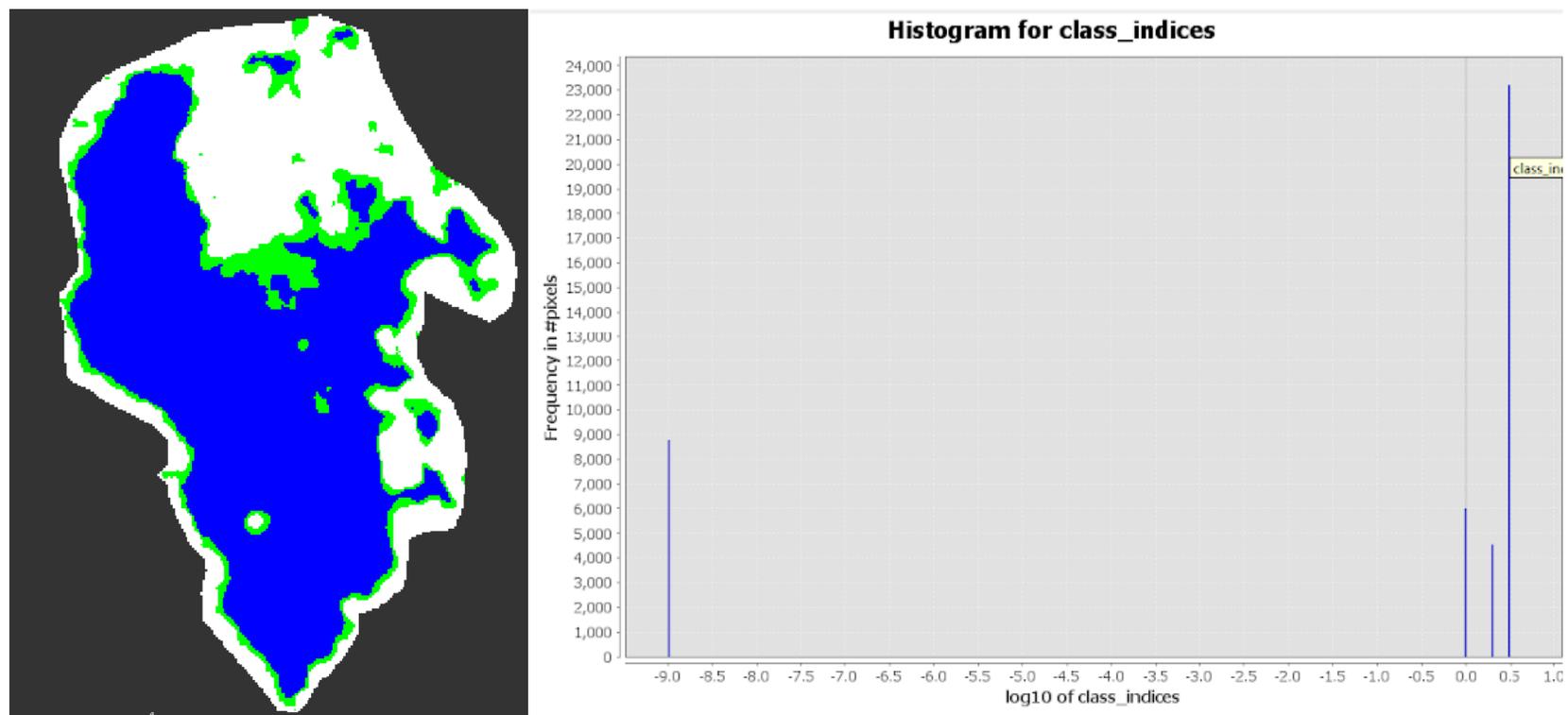
Fecha de análisis de imagen: **30 de enero de 2021**

Cantidad de píxeles  $27312 * 0.0001 = 2.73 \text{ Km}^2$  (superficie de agua)

Cantidad de píxeles  $2949 * 0.0001 = 0.29 \text{ Km}^2$  (ninja, vegetación)

**Figura 62.**

*Mapa de delimitación de superficie de agua época lluviosa, 2021, El Jocotal*



*Nota:* Superficie en color azul representa la superficie de agua y en color verde a la vegetación. El título y las leyendas del gráfico de la derecha fueron generadas por defecto en inglés por el software SNAP y se refieren a Histograma de clases de clasificación de superficie (agua y vegetación). Fuente de datos imágenes Sentinel 1.

### Datos

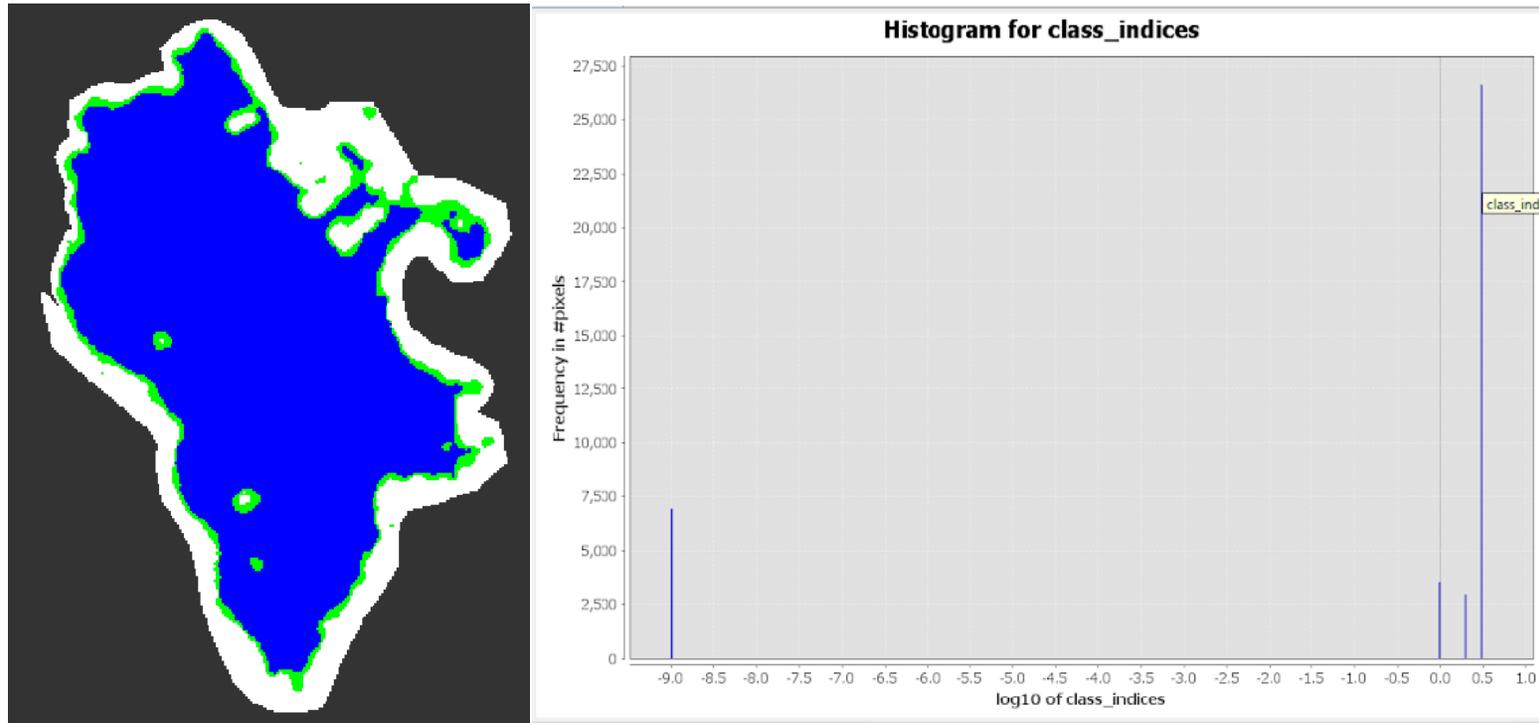
Fecha de análisis de imagen: **03 de septiembre de 2021**

Cantidad de píxeles  $23214 * 0.0001 = 2.32 \text{ Km}^2$  (superficie de agua)

Cantidad de píxeles  $4546 * 0.0001 = 0.45 \text{ Km}^2$  (ninja, vegetación)

**Figura 63.**

*Mapa de delimitación de superficie de agua transición época lluviosa a seca, 2021, Laguna El Jocotal*



*Nota:* Superficie en color azul representa la superficie de agua y en color verde a la vegetación. El título y las leyendas del gráfico de la derecha fueron generadas por defecto en inglés por el software SNAP y se refieren a Histograma de clases de clasificación de superficie (agua y vegetación). Fuente de datos imágenes Sentinel 1.

**Datos**

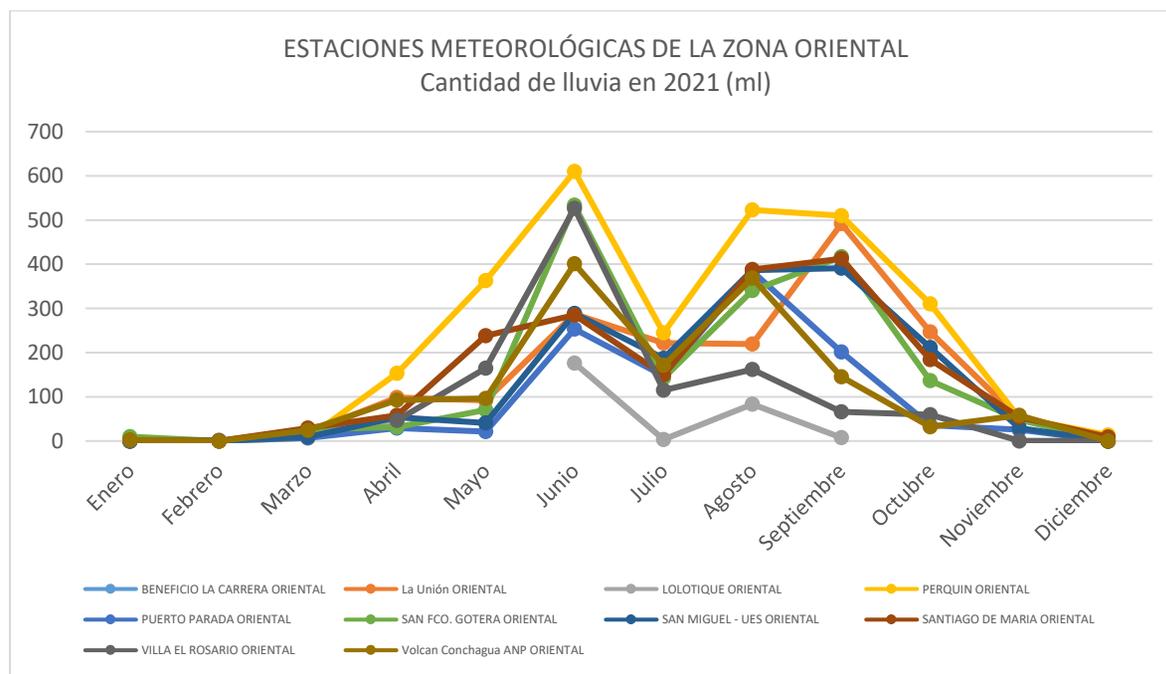
Fecha de análisis de imagen: **20 de diciembre de 2021**

Cantidad de píxeles  $26620 * 0.0001 = 2.66 \text{ Km}^2$  (superficie de agua)

Cantidad de píxeles  $2955 * 0.0001 = 0.29 \text{ Km}^2$  (ninja, vegetación)

**Figura 64.**

*Lluvia acumulada. Por cada estación meteorológica de la Zona Oriental, 2021*



**Tabla 7.**

*Lluvia acumulada en Zona Oriental. 2021*

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Lluvia por mes (mm)	17.9	1.6	137	602.5	1086.4	3360.8	1381.9	2855.3	2641.1	1217	367.1	22.9

**Figura 65.**

*Lluvia acumulada de todas las estaciones de la Zona Oriental, 2021*



En el año 2021 la temporada de lluvias inició en abril y finalizó en noviembre, manteniendo la tendencia de tener una disminución en el mes julio; además hubo un promedio de 15 días sin lluvias entre abril y noviembre. La cantidad de lluvia acumulada registrada en 2021 fue de 13,691.5 mm.

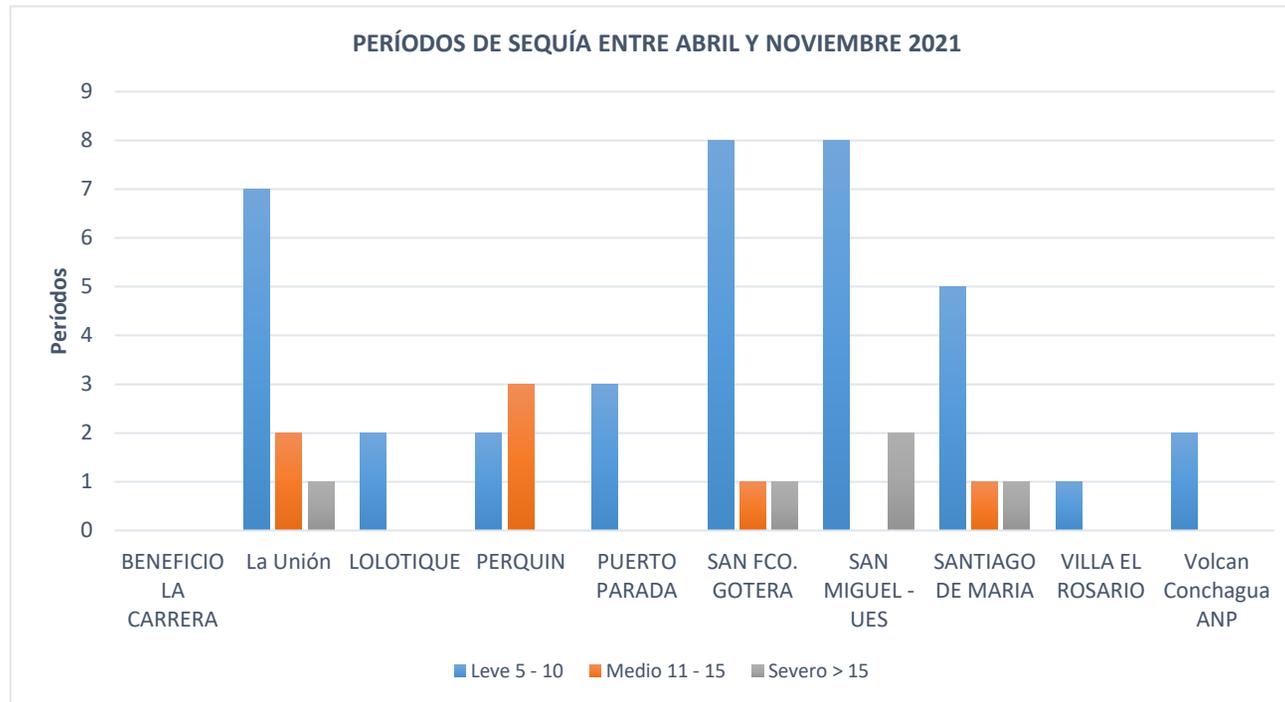
**Tabla 8.**

*Periodos de sequía entre abril y noviembre 2021 por estación meteorológica.*

Períodos de sequía.	La Unión	Lolotique	Perquin	Puerto Parada	San Fco. Gotera	San Miguel - UES	Santiago de María	Villa Rosario	El Volcán Conchagua ANP	Total
Leve 5 - 10	7	2	2	3	8	8	5	1	2	38
Medio 11 - 15	2	0	3	0	1	0	1	0	0	7
Severo > 15	1	0	0	0	1	2	1	0	0	5

**Figura 66.**

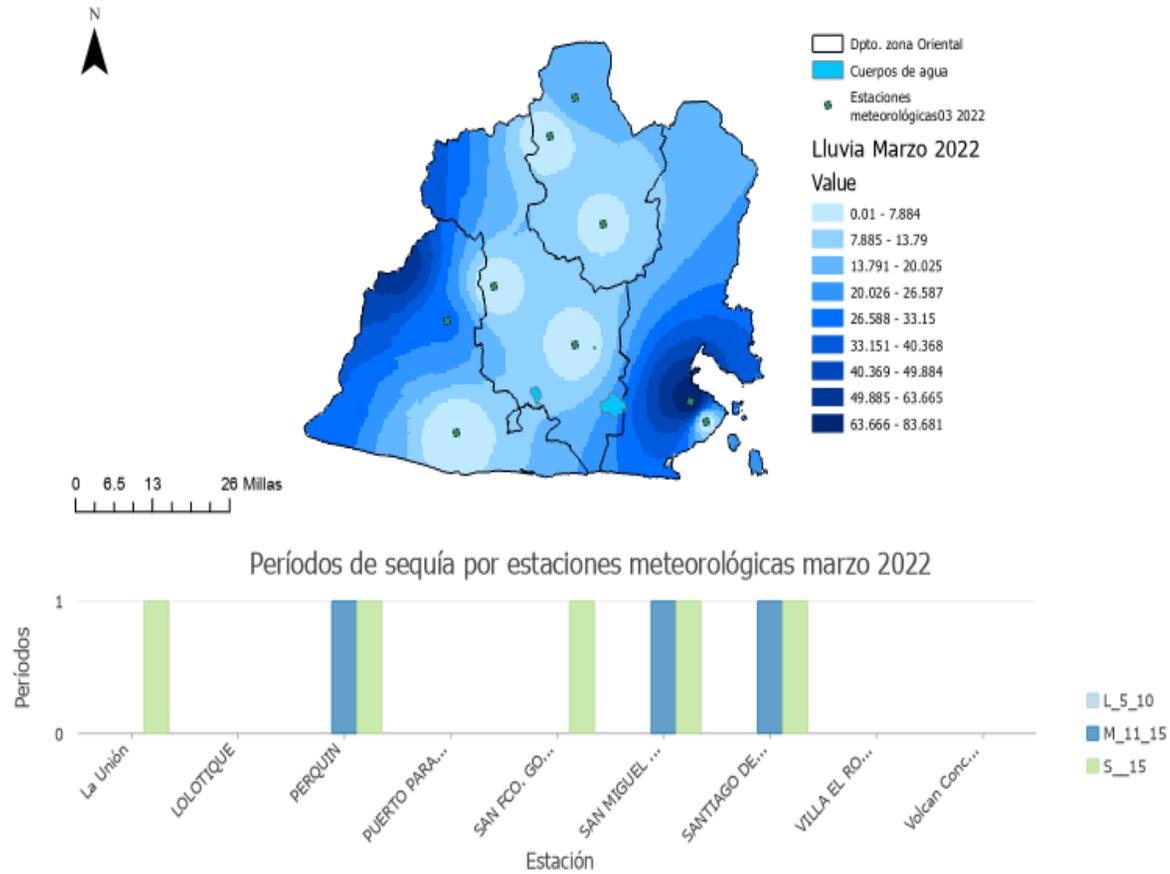
*Periodos secos en la zona oriental, 2021*



## Datos de precipitación año 2022

**Figura 67.**

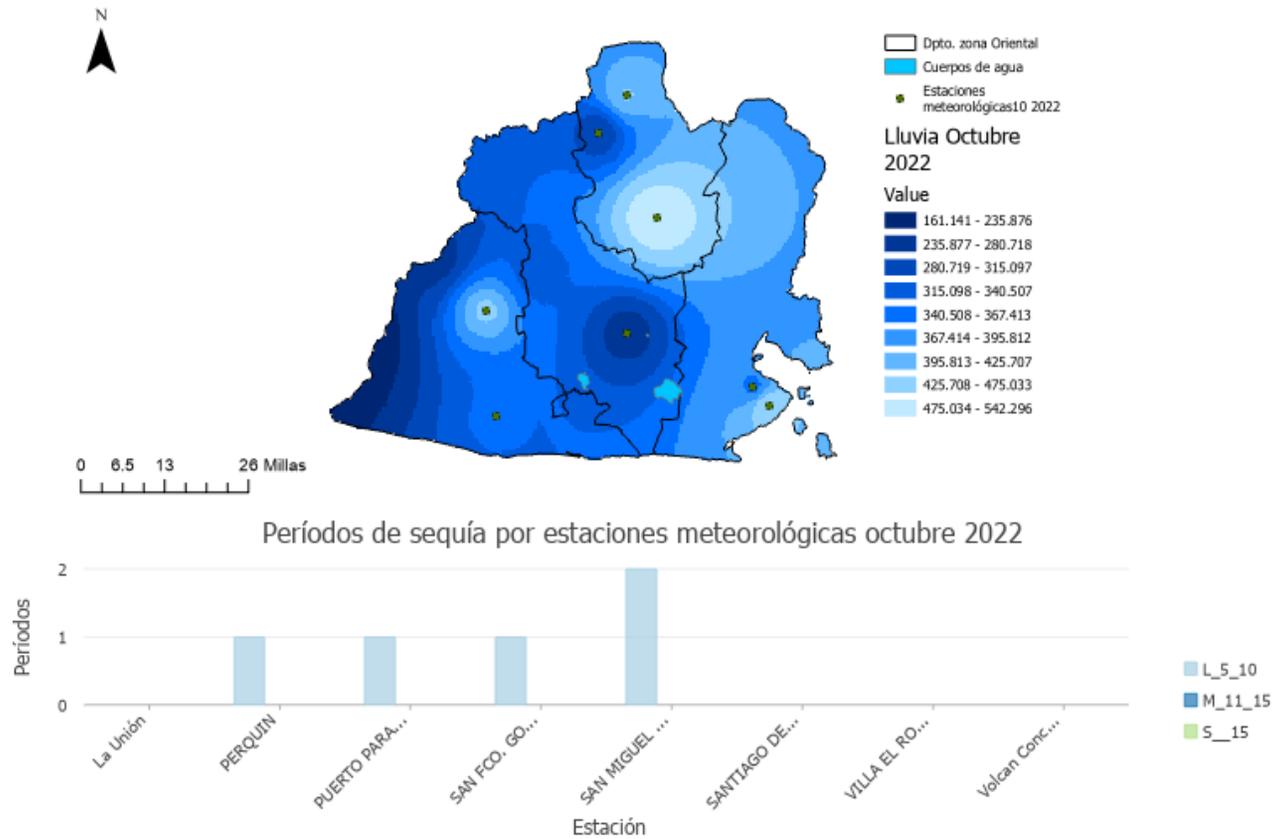
*Cantidad de lluvia y periodos secos en zona oriental, marzo, 2022*



*Nota:* La imagen fue elaborada en software ArcGIS Pro. Fuente datos meteorológicos del MARN.

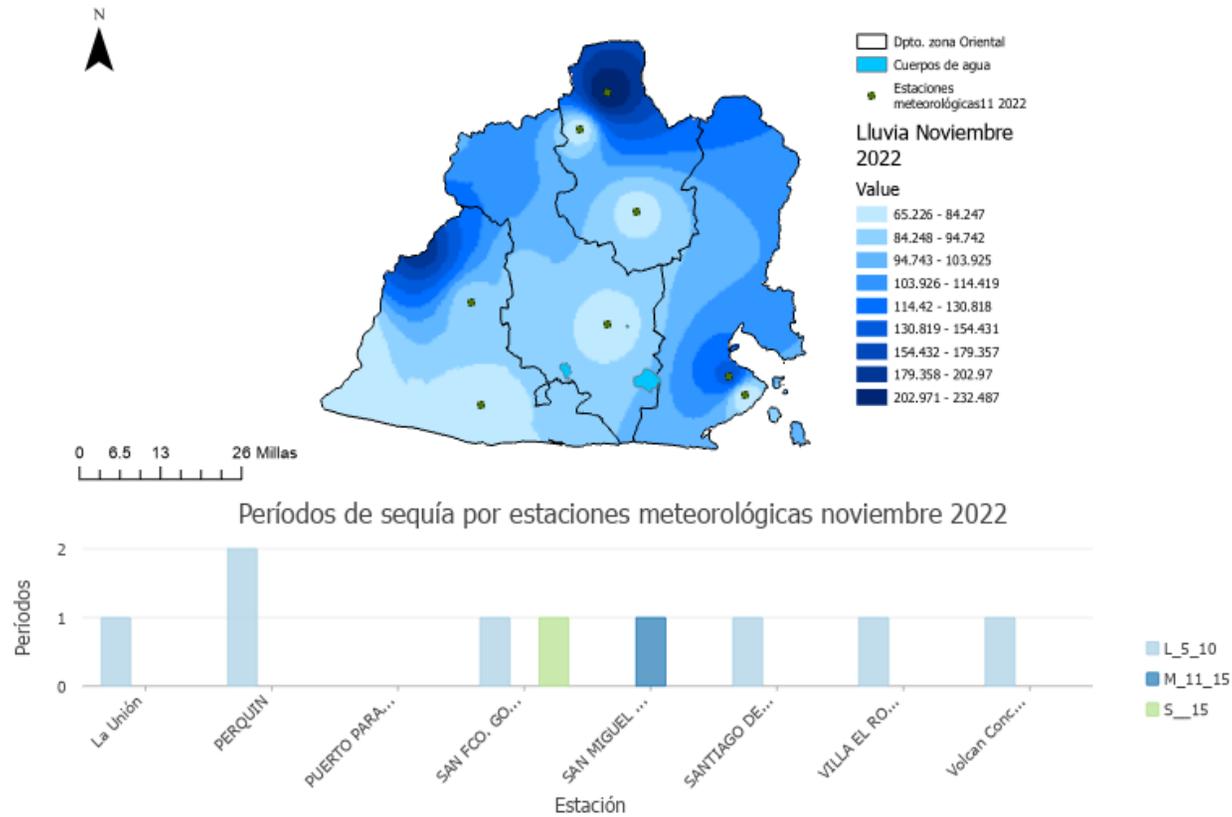
**Figura 68.**

Cantidad de lluvia y periodos secos en zona oriental, octubre 2022



Nota: La imagen fue elaborada en software ArcGIS Pro. Fuente datos meteorológicos del MARN.

**Figura 69.**  
*Cantidad de lluvia y periodos secos en zona oriental, noviembre 2022*



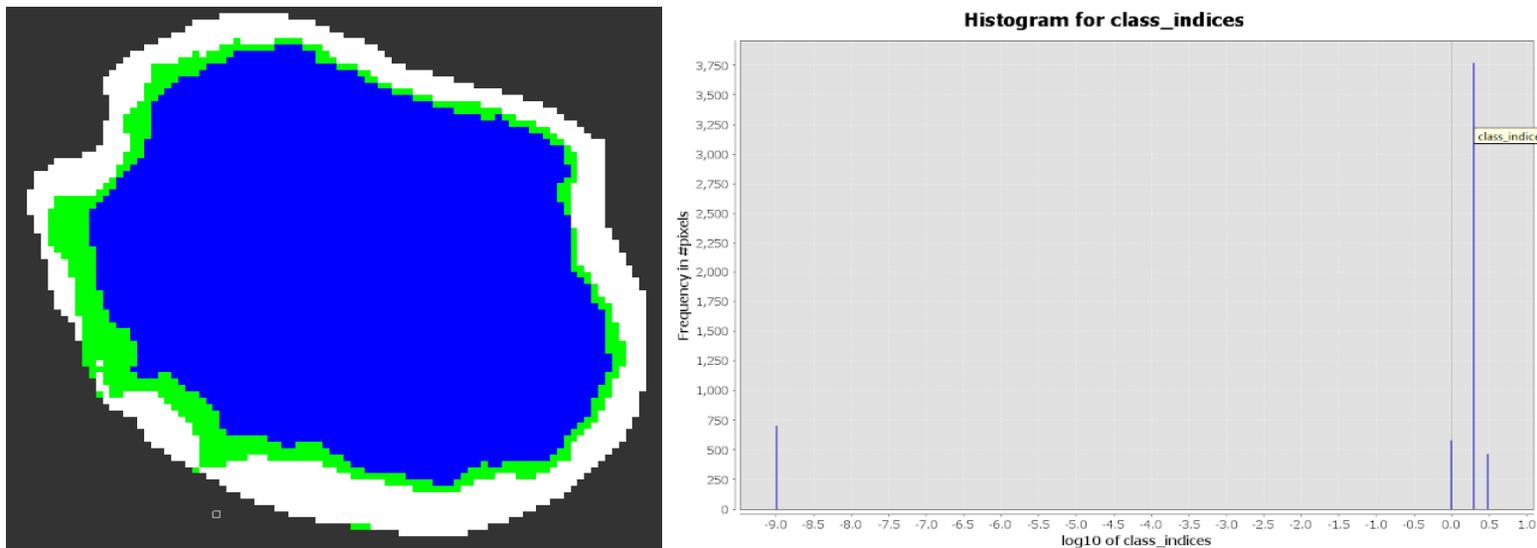
*Nota:* La imagen fue elaborada en software ArcGIS Pro. Fuente datos meteorológicos del MARN.

## Análisis de variación de superficie de agua 2022, utilizando SNAP.

### Laguna de Aramuaca

#### Figura 70.

Mapa de delimitación de superficie de agua transición época seca a lluviosa, 2022, Laguna de Aramuaca



*Nota:* Superficie en color azul representa la superficie de agua y en color verde a la vegetación. El título y las leyendas del gráfico de la derecha fueron generadas por defecto en inglés por el software SNAP y se refieren a Histograma de clases de clasificación de superficie (agua y vegetación). Fuente de datos imágenes Sentinel 1.

#### Datos

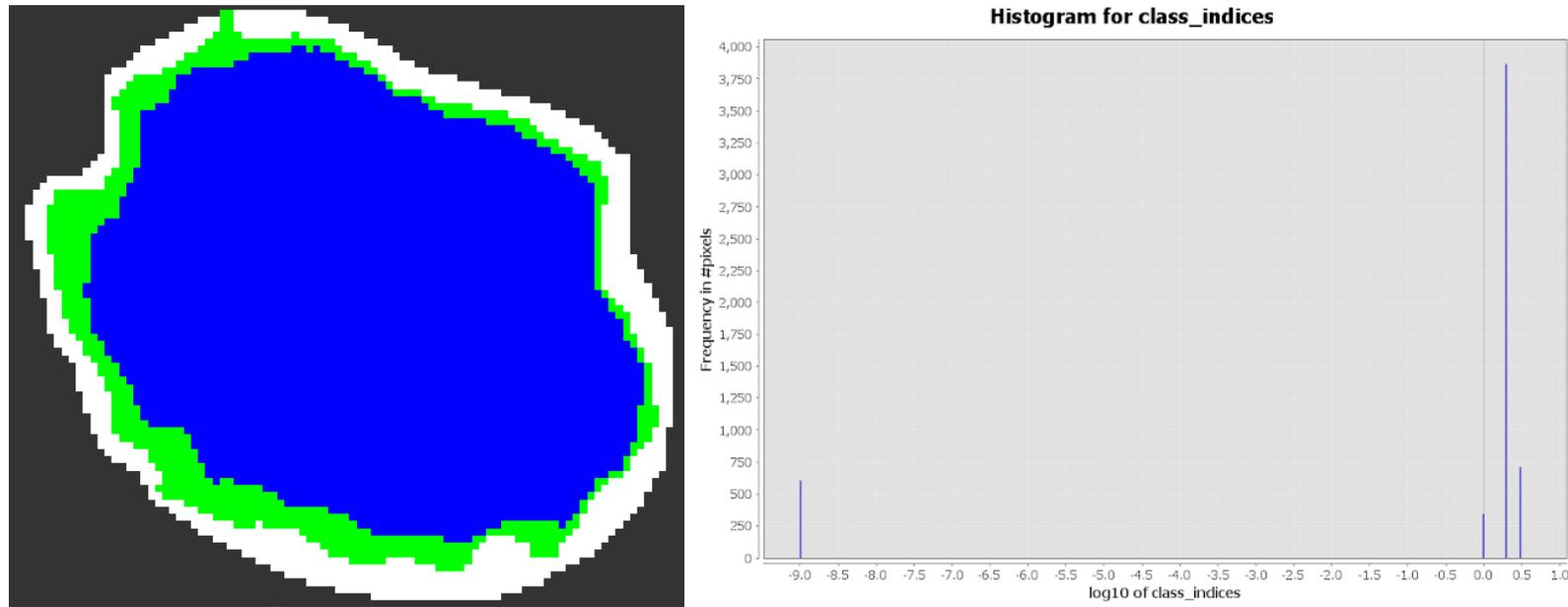
Fecha de análisis de imagen: **13 de enero de 2022**

Cantidad de píxeles  $3771 * 0.0001 = 0.38 \text{ Km}^2$  (superficie de agua)

Cantidad de píxeles  $580 * 0.0001 = 0.06 \text{ Km}^2$  (ninja, vegetación)

### Figura 71.

Mapa de delimitación de superficie de agua época lluviosa, 2022, Laguna de Aramuaca.



*Nota:* Superficie en color azul representa la superficie de agua y en color verde a la vegetación. El título y las leyendas del gráfico de la derecha fueron generadas por defecto en inglés por el software SNAP y se refieren a Histograma de clases de clasificación de superficie (agua y vegetación). Fuente de datos imágenes Sentinel 1.

### Datos

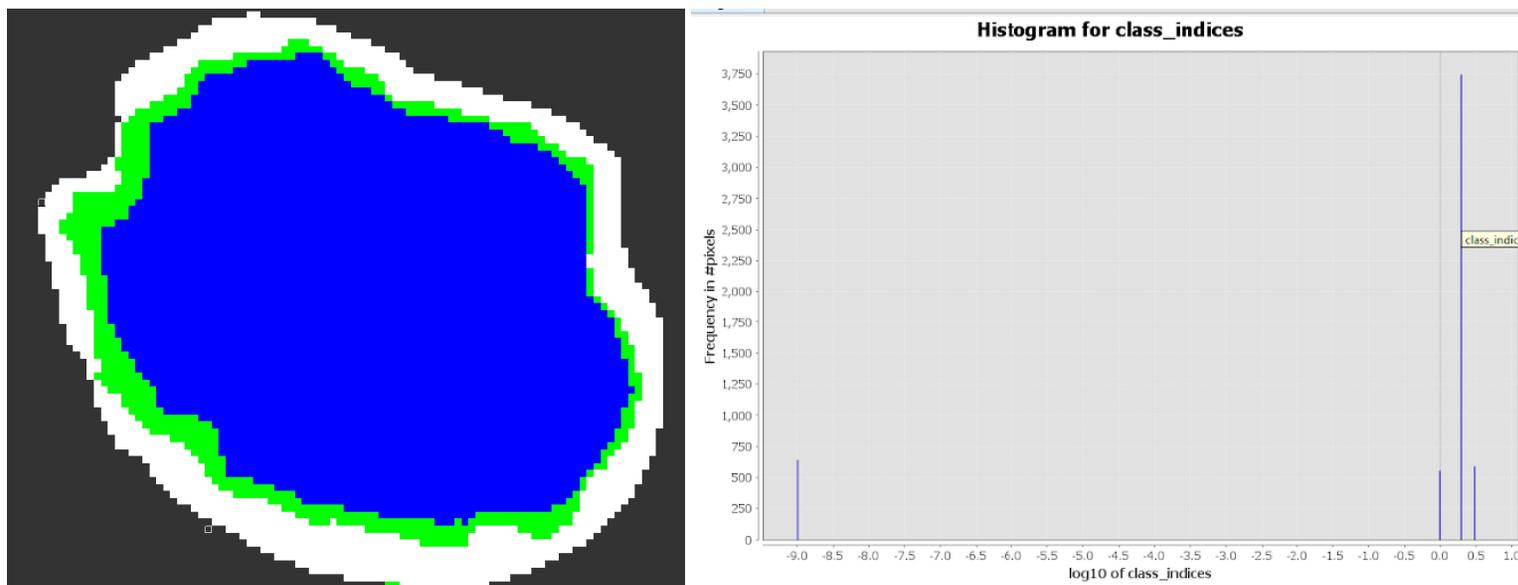
Fecha de análisis de imagen: **04 de octubre de 2022**

Cantidad de píxeles  $3867 * 0.0001 = 0.39 \text{ Km}^2$  (superficie de agua)

Cantidad de píxeles  $711 * 0.0001 = 0.07 \text{ Km}^2$  (ninja, vegetación)

## Figura 72.

Mapa de delimitación de superficie de agua transición época lluviosa a seca, 2022, Laguna de Aramuaca



*Nota:* Superficie en color azul representa la superficie de agua y en color verde a la vegetación. El título y las leyendas del gráfico de la derecha fueron generadas por defecto en inglés por el software SNAP y se refieren a Histograma de clases de clasificación de superficie (agua y vegetación). Fuente de datos imágenes Sentinel 1.

### Datos

Fecha de análisis de imagen: **15 de diciembre de 2022**

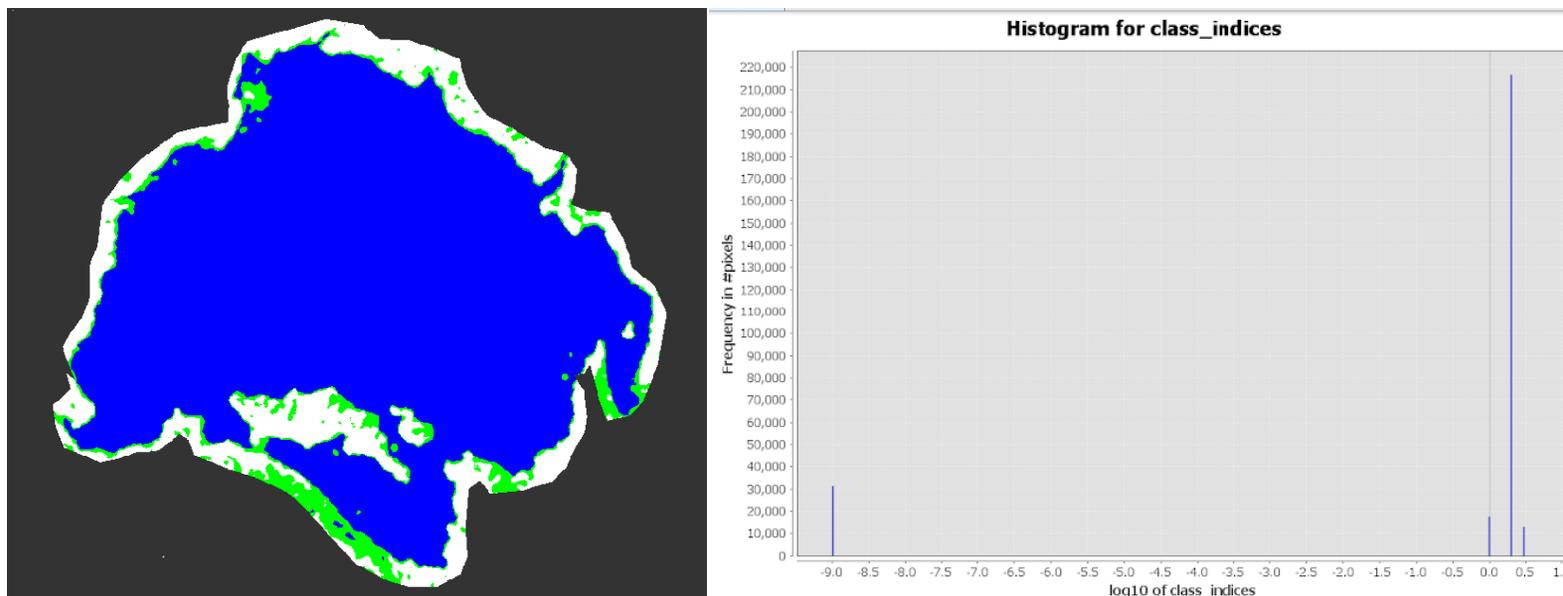
Cantidad de píxeles  $3746 * 0.0001 = 0.37 \text{ Km}^2$  (superficie de agua)

Cantidad de píxeles  $590 * 0.0001 = 0.06 \text{ Km}^2$  (ninja, vegetación)

## Laguna de Olomega

### Figura 73.

Mapa de delimitación de superficie de agua transición época seca a lluviosa, 2022, Laguna de Olomega



*Nota:* Superficie en color azul representa la superficie de agua y en color verde a la vegetación. El título y las leyendas del gráfico de la derecha fueron generadas por defecto en ingles por el software SNAP y se refieren a Histograma de clases de clasificación de superficie (agua y vegetación). Fuente de datos imágenes Sentinel 1.

### Datos

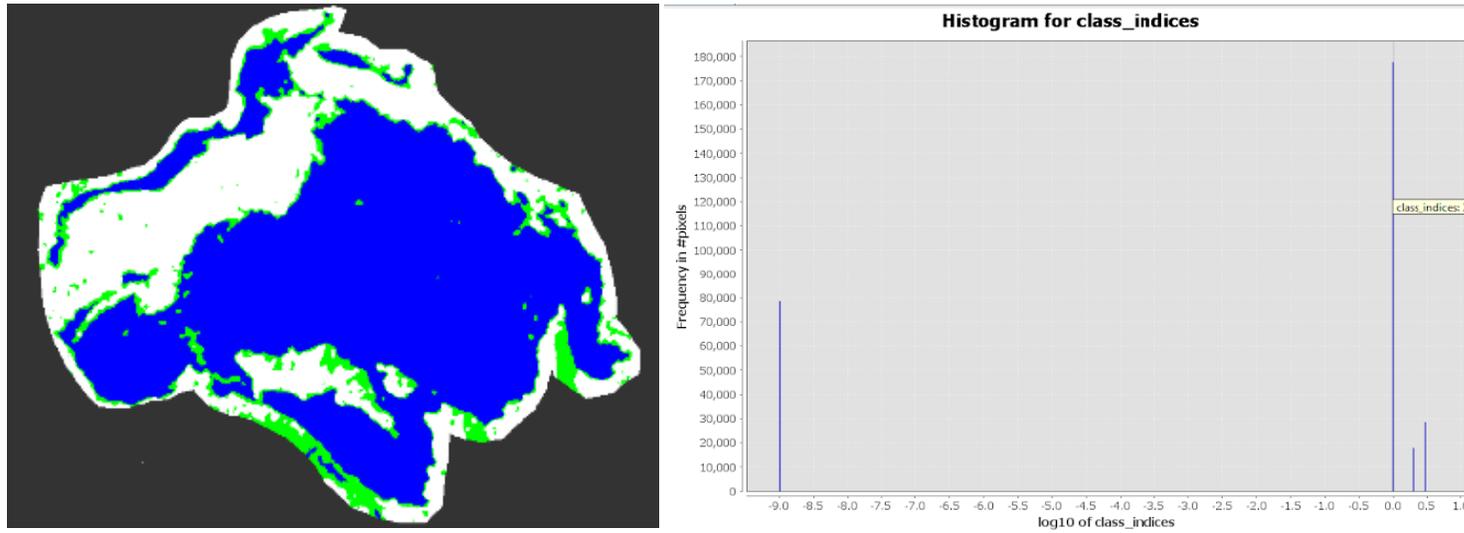
Fecha de análisis de imagen: **10 de enero de 2022**

Cantidad de pixeles  $216636 * 0.0001 = 21.66 \text{ Km}^2$  (superficie de agua)

Cantidad de pixeles  $17525 * 0.0001 = 1.75 \text{ Km}^2$  (ninja, vegetación)

### Figura 74.

Mapa de delimitación de superficie de agua época lluviosa, 2022, Laguna de Olomega



*Nota:* Superficie en color azul representa la superficie de agua y en color verde a la vegetación. El título y las leyendas del gráfico de la derecha fueron generadas por defecto en inglés por el software SNAP y se refieren a Histograma de clases de clasificación de superficie (agua y vegetación). Fuente de datos imágenes Sentinel 1.

### Datos

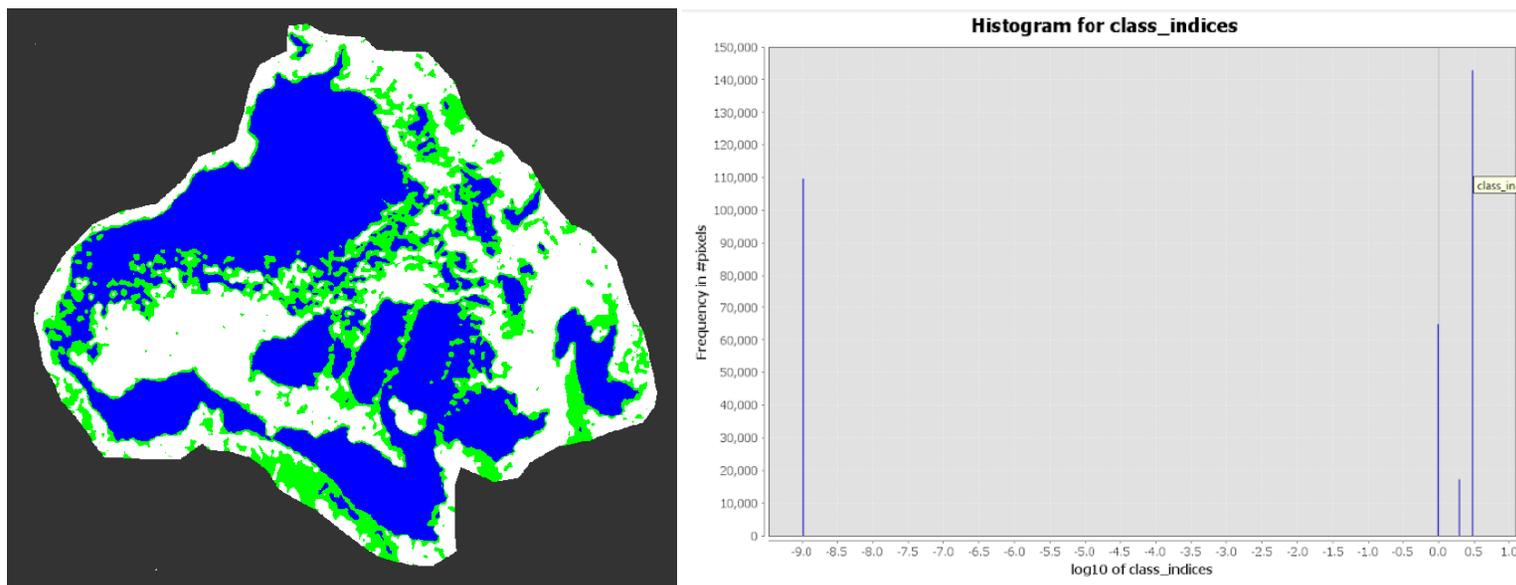
Fecha de análisis de imagen: **04 de octubre de 2022**

Cantidad de píxeles  $177705 * 0.0001 = 17.77 \text{ Km}^2$  (superficie de agua)

Cantidad de píxeles  $28520 * 0.0001 = 2.85 \text{ km}^2$  (ninja, vegetación)

### Figura 75.

Mapa de delimitación de superficie de agua transición época lluviosa a seca, 2022, Laguna de Olomega



*Nota:* Superficie en color azul representa la superficie de agua y en color verde a la vegetación. El título y las leyendas del gráfico de la derecha fueron generadas por defecto en ingles por el software SNAP y se refieren a Histograma de clases de clasificación de superficie (agua y vegetación). Fuente de datos imágenes Sentinel 1.

### Datos

Fecha de análisis de imagen: **15 de diciembre 2022**

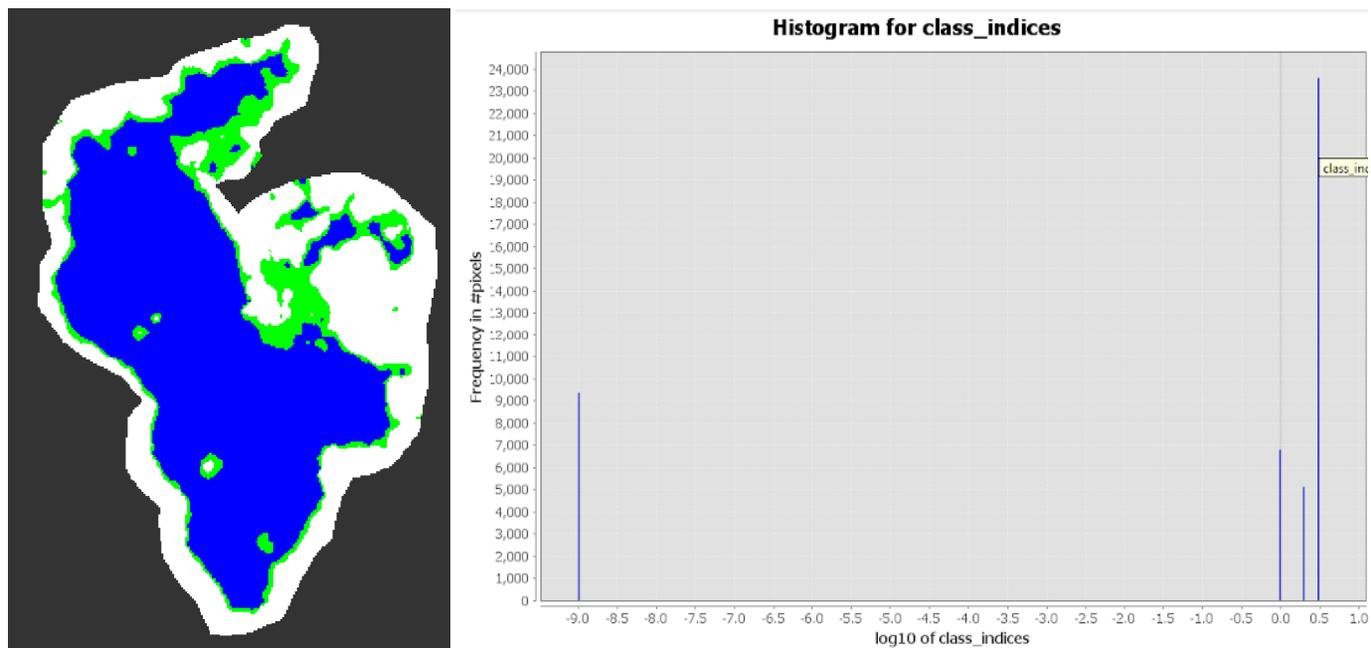
Cantidad de pixeles  $142879 * 0.0001 = 14.29 \text{ Km}^2$  (superficie de agua)

Cantidad de pixeles  $64818 * 0.0001 = 6.48 \text{ Km}^2$  (ninja, vegetación)

## Laguna de Jocotal

**Figura 76.**

*Mapa de delimitación de superficie de agua transición época seca a lluviosa, 2022, Laguna El Jocotal*



*Nota:* Superficie en color azul representa la superficie de agua y en color verde a la vegetación. El título y las leyendas del gráfico de la derecha fueron generadas por defecto en inglés por el software SNAP y se refieren a Histograma de clases de clasificación de superficie (agua y vegetación). Fuente de datos imágenes Sentinel 1.

### Datos

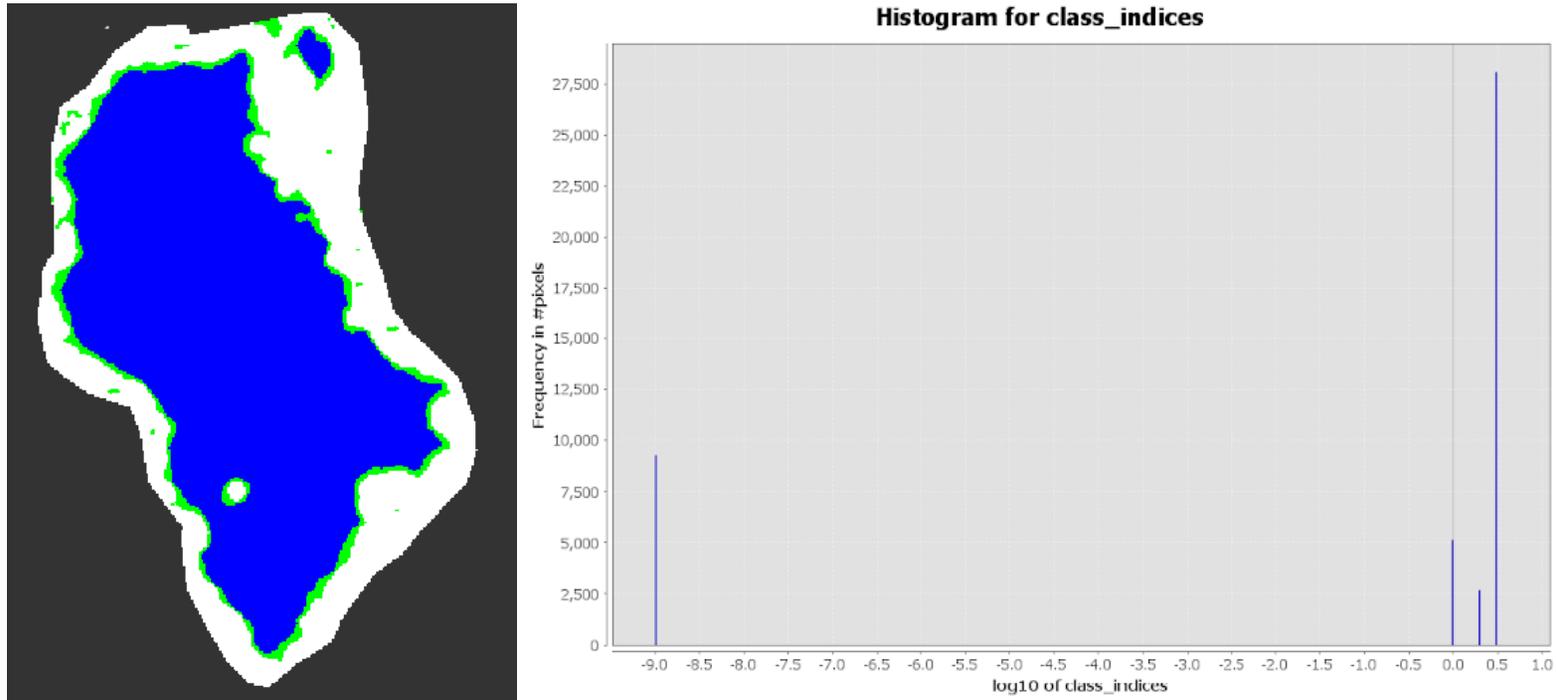
Fecha de análisis de imagen: **13 de enero 2022**

Cantidad de píxeles  $23605 * 0.0001 = 2.36 \text{ Km}^2$  (superficie de agua)

Cantidad de píxeles  $5121 * 0.0001 = 0.51 \text{ Km}^2$  (ninja, vegetación)

**Figura 77.**

*Mapa de delimitación de superficie de agua época lluviosa, 2022, Laguna El Jocotal*



*Nota:* Superficie en color azul representa la superficie de agua y en color verde a la vegetación. El título y las leyendas del gráfico de la derecha fueron generadas por defecto en inglés por el software SNAP y se refieren a Histograma de clases de clasificación de superficie (agua y vegetación). Fuente de datos imágenes Sentinel 1.

**Datos**

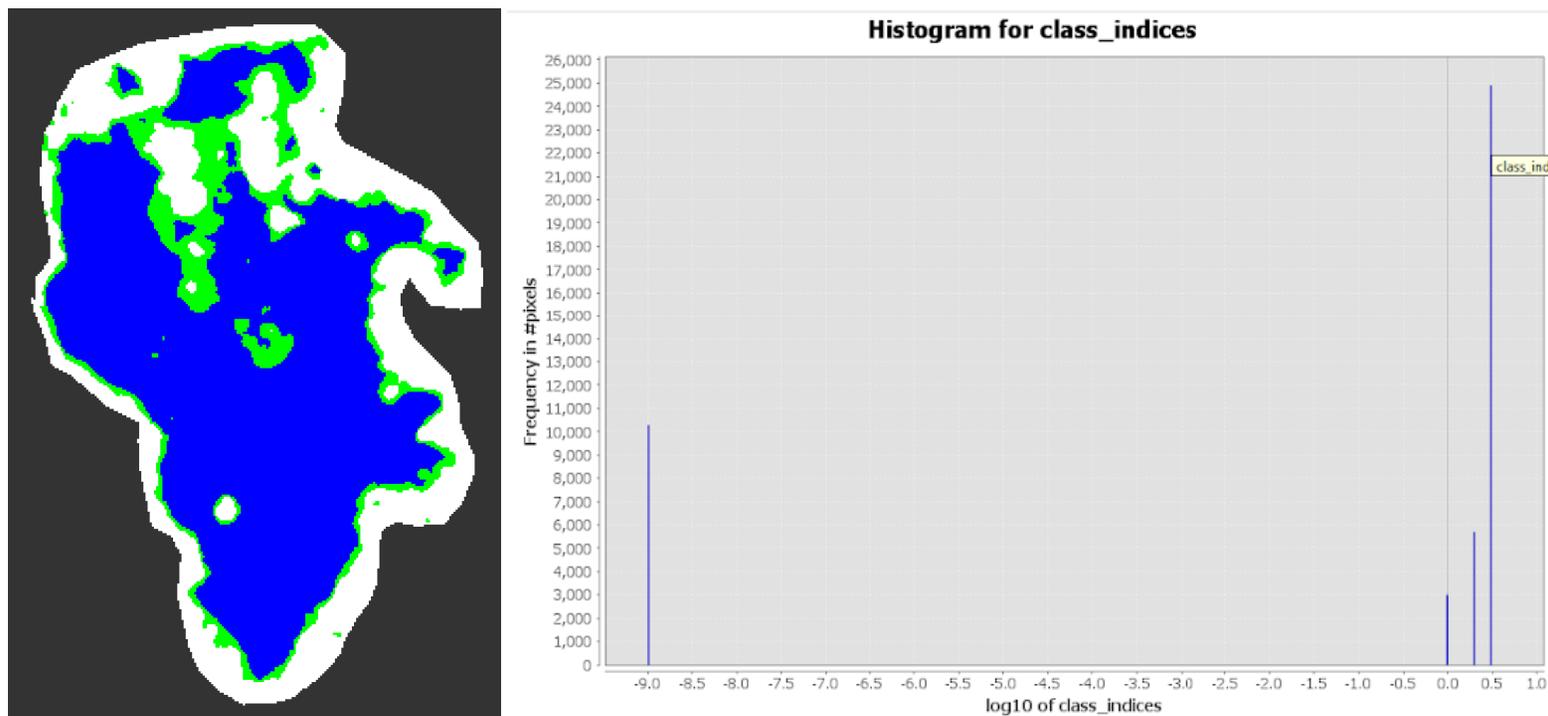
Fecha de análisis de imagen: **04 de octubre de 2022**

Cantidad de píxeles  $28072 * 0.0001 = 2.81 \text{ Km}^2$  (superficie de agua)

Cantidad de píxeles  $2686 * 0.0001 = 0.27 \text{ Km}^2$  (ninja, vegetación)

### Figura 78.

Mapa de delimitación de superficie de agua transición época lluviosa a seca, 2022, Laguna El Jocotal



*Nota:* Superficie en color azul representa la superficie de agua y en color verde a la vegetación. El título y las leyendas del gráfico de la derecha fueron generadas por defecto en inglés por el software SNAP y se refieren a Histograma de clases de clasificación de superficie (agua y vegetación). Fuente de datos imágenes Sentinel 1.

### Datos

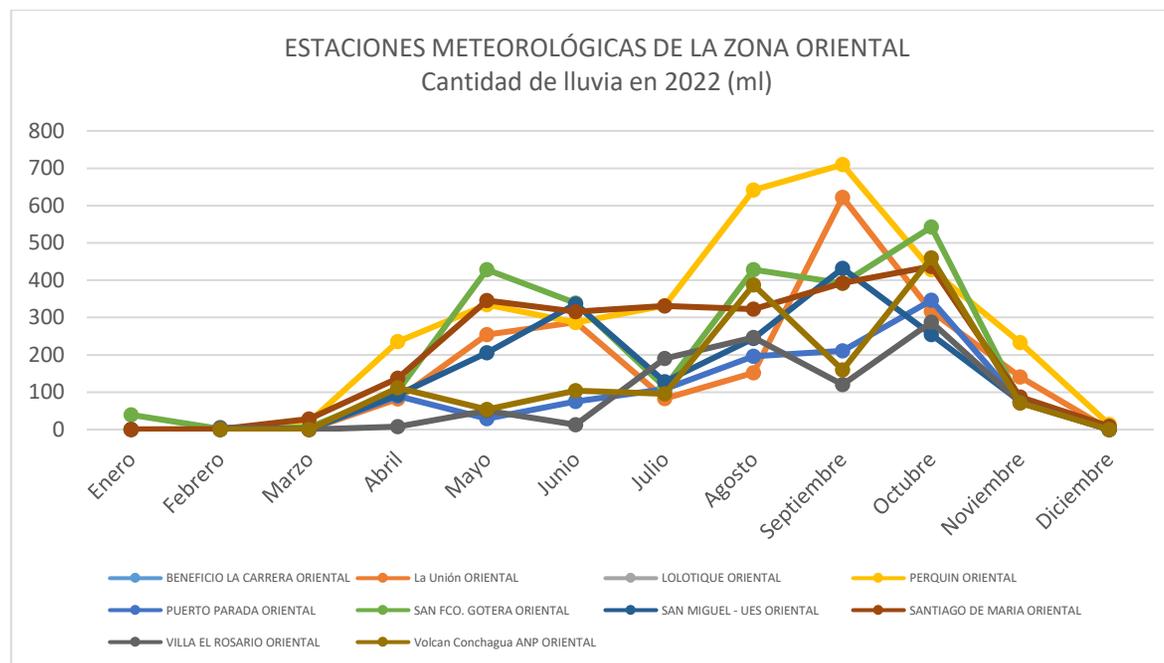
Fecha de análisis de imagen: **15 de diciembre de 2022**

Cantidad de píxeles  $24905 * 0.0001 = 2.49 \text{ Km}^2$  (superficie de agua)

Cantidad de píxeles  $5703 * 0.0001 = 0.57 \text{ Km}^2$  (ninja, vegetación)

**Figura 79.**

*Lluvia acumulada. Por cada estación meteorológica de la Zona Oriental, 2022*



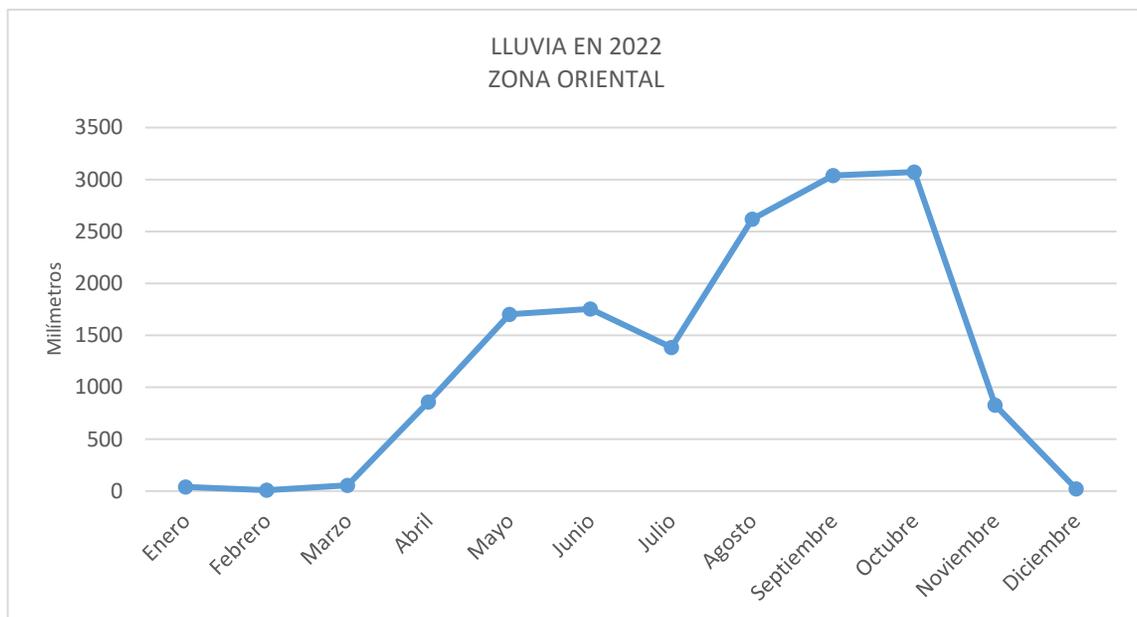
**Tabla 9.**

*Lluvia acumulada en Zona Oriental. 2022*

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Lluvia por mes (mm)	40	8.5	55.1	859.9	1700.4	1755.4	1382.3	2618.1	3038.8	3071.9	829	22.9

**Figura 80.**

*Lluvia acumulada de todas las estaciones de la Zona Oriental, 2022*



En el año 2022 la época lluviosa inició en abril y finalizó en noviembre, julio se registró una disminución similar a los años anteriores. En este año, hubo un promedio de 12 días sin lluvias entre abril y octubre aproximadamente y la precipitación acumulada en toda la temporada para las estaciones del oriente del país fue de 15,382.3 mm.

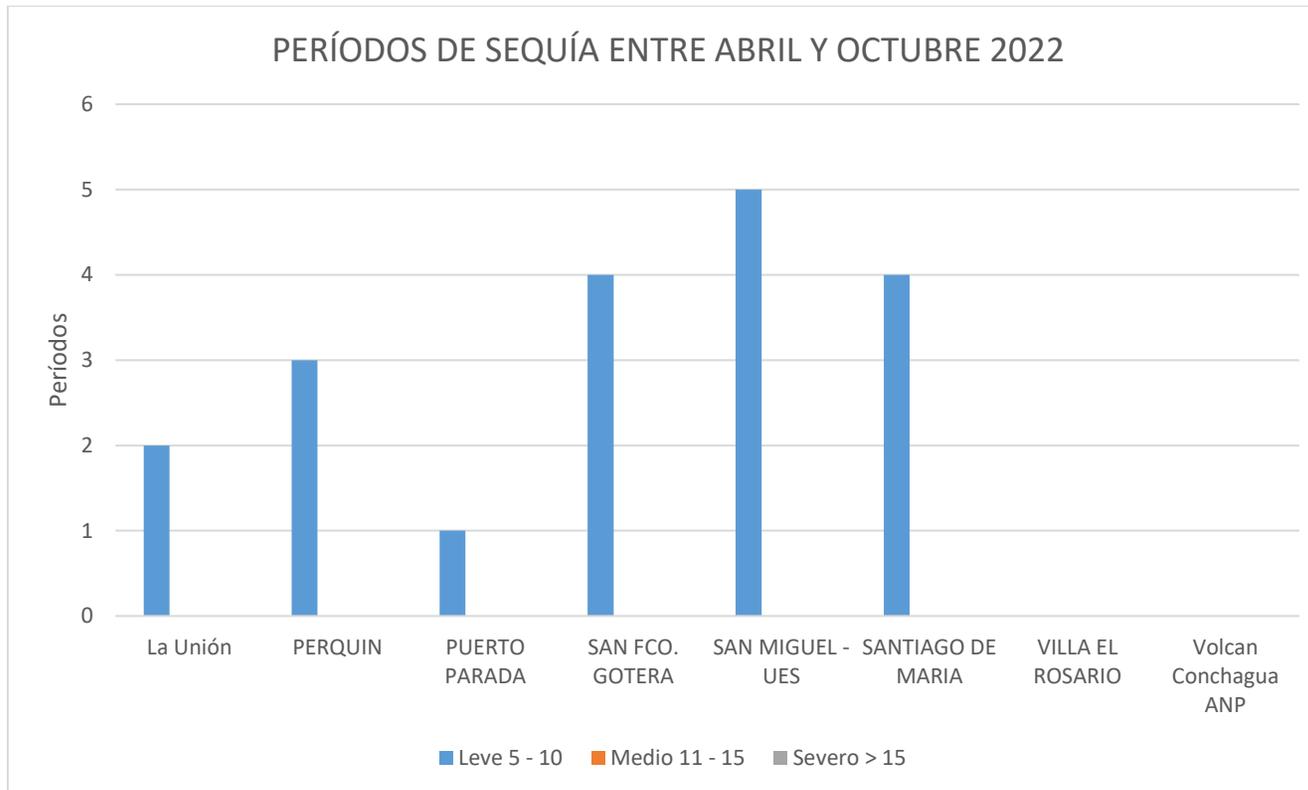
**Tabla 10.**

*Periodos de sequía entre abril y octubre de 2022 por estación meteorológica*

Períodos de sequía.	La Unión	Perquin	Puerto Parada	San Fco. Gotera	San Miguel - UES	Santiago de María	Villa Rosario	El Volcán Conchagua	Total ANP
Leve 5 - 10	2	3	1	4	5	4	0	0	19
Medio 11 - 15	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Severo > 15	0	0	0	0	0	0	0	0	0

**Figura 81.**

*Periodos secos en la zona oriental, 2022*

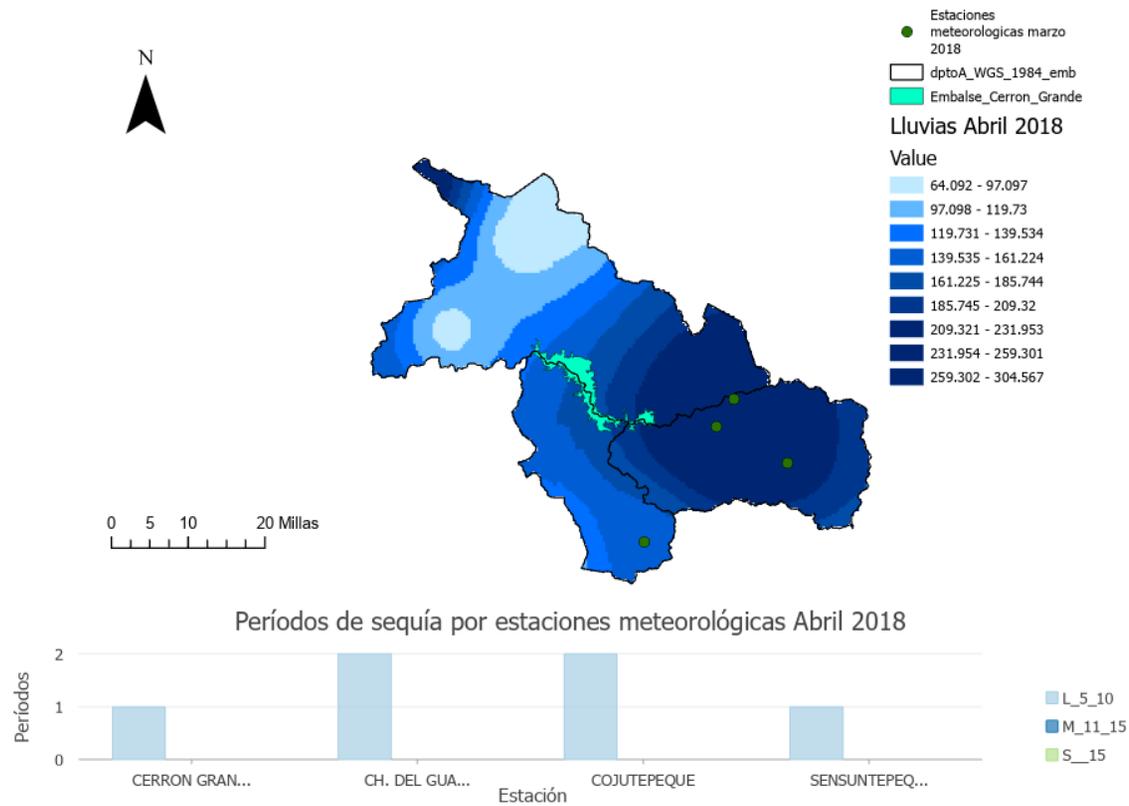


### 4.1.2 Embalse Cerrón Grande

#### Datos de precipitación año 2018

**Figura 82.**

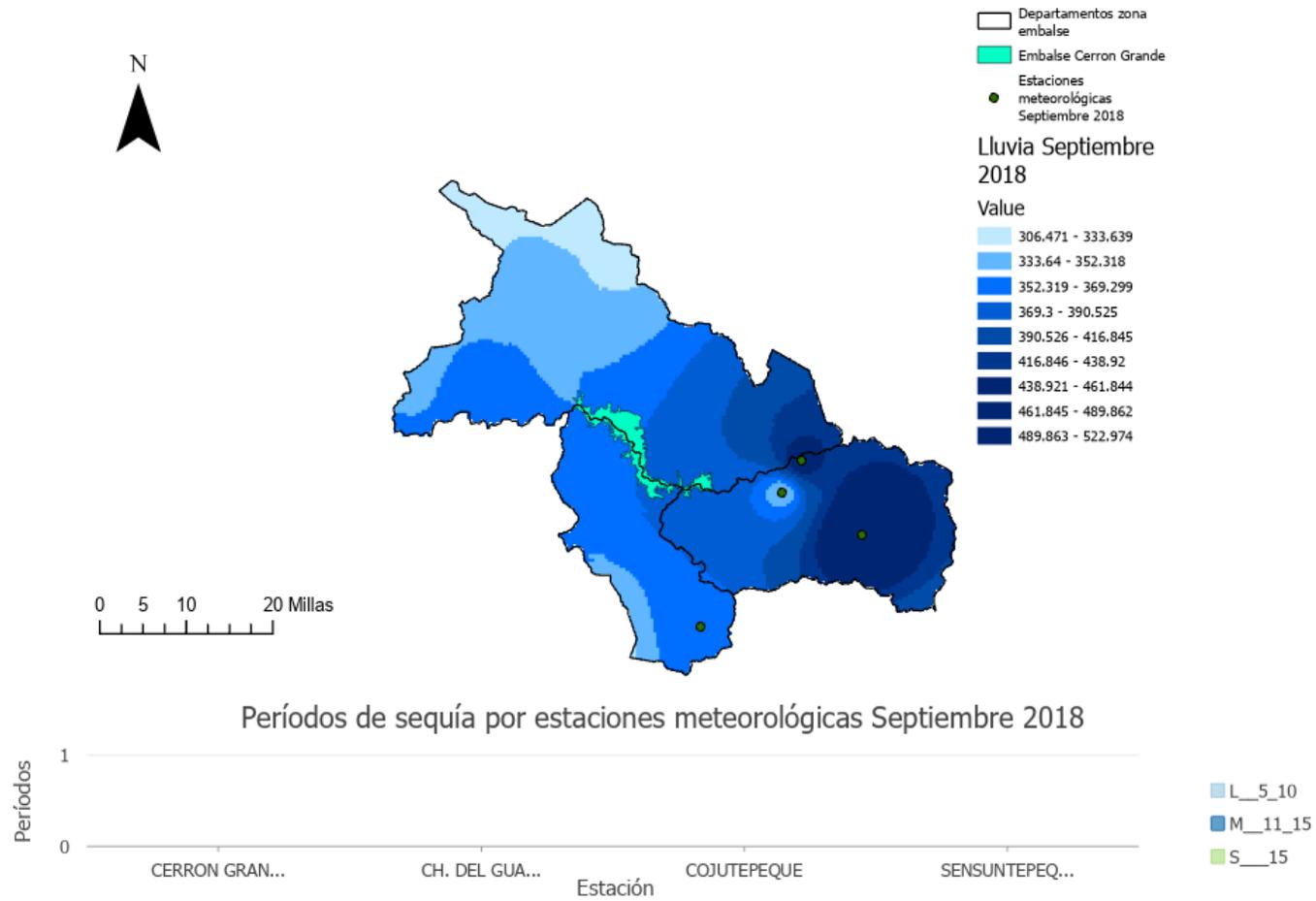
*Cantidad de lluvia y periodos secos en zona Embalse Cerrón Grande, abril, 2018*



*Nota:* La imagen fue elaborada en software ArcGIS Pro. Fuente datos meteorológicos del MARN.

**Figura 83.**

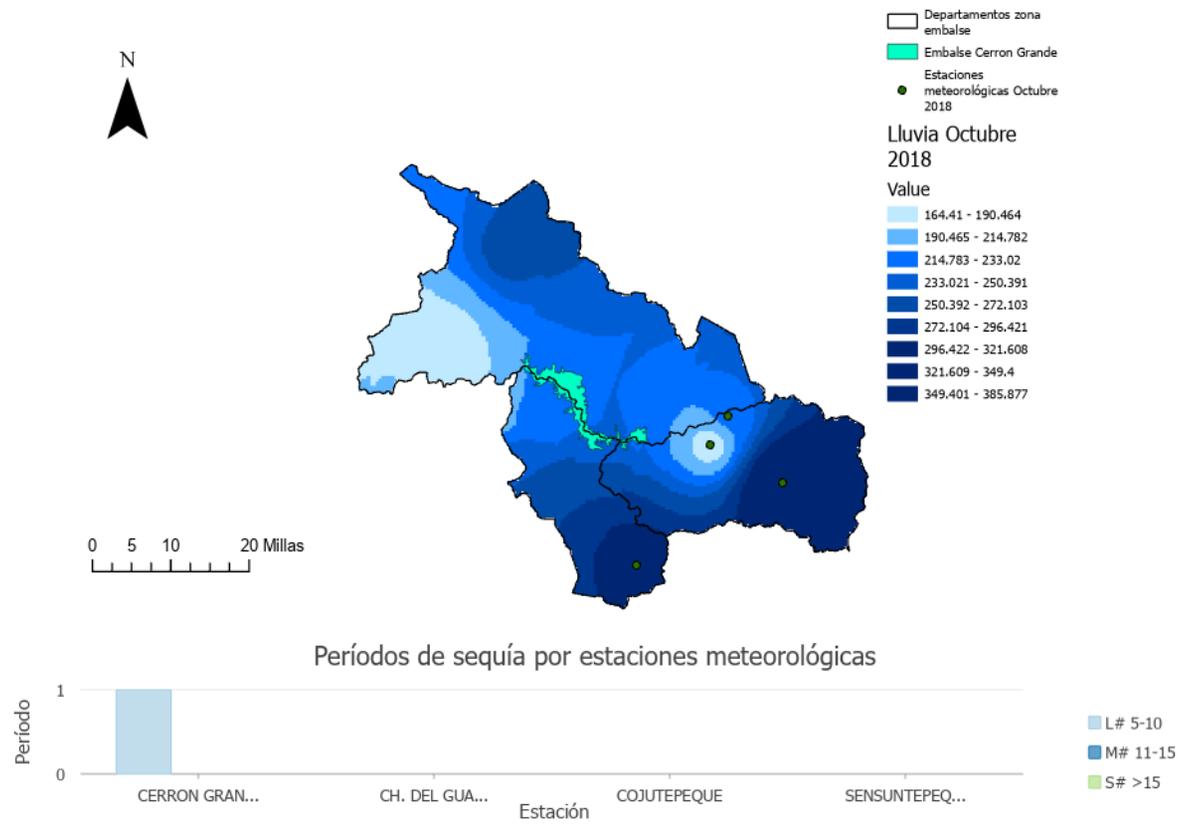
*Cantidad de lluvia y periodos secos en zona Embalse Cerrón Grande, septiembre, 2018*



*Nota:* La imagen fue elaborada en software ArcGIS Pro. Fuente datos meteorológicos del MARN.

**Figura 84.**

*Cantidad de lluvia y periodos secos en zona Embalse Cerrón Grande, octubre, 2018*



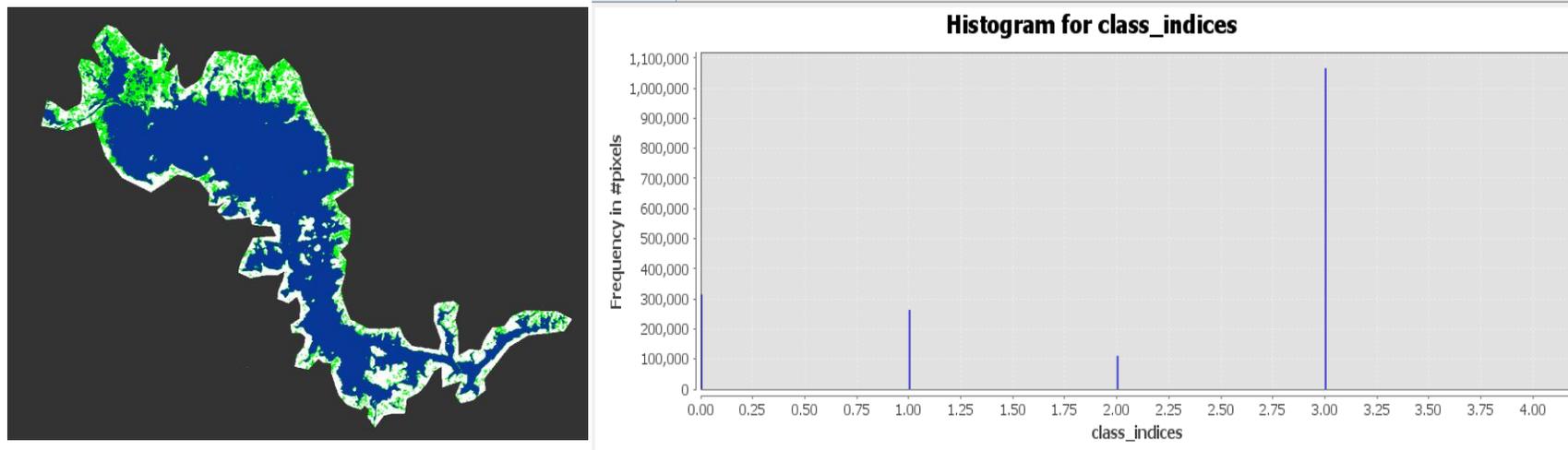
*Nota:* La imagen fue elaborada en software ArcGIS Pro. Fuente datos meteorológicos del MARN.

## Análisis de variación de superficie de agua 2018, utilizando SNAP.

### Embalse de Chalatenango

#### Figura 85.

Mapa de delimitación de superficie de agua transición época seca a lluviosa, 2018, Embalse Cerrón Grande



*Nota:* Superficie en color azul representa la superficie de agua y en color verde a la vegetación. El título y las leyendas del gráfico de la derecha fueron generadas por defecto en inglés por el software SNAP y se refieren a Histograma de clases de clasificación de superficie (agua y vegetación). Fuente de datos imágenes Sentinel 1.

#### Datos

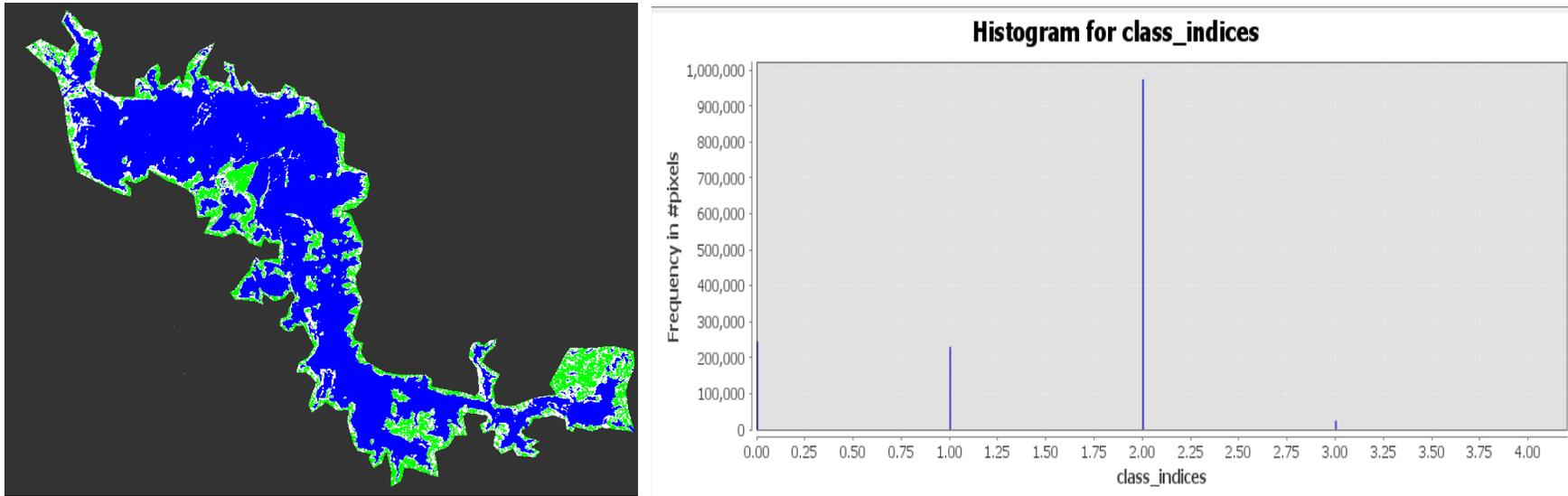
Fecha de análisis de imagen: **13 de enero de 2018**

Cantidad de píxeles  $1066295 * 0.0001 = 106.62 \text{ Km}^2$  (superficie de agua)

Cantidad de píxeles  $263554 * 0.0001 = 26.36 \text{ Km}^2$  (ninja, vegetación)

**Figura 86.**

*Mapa de delimitación de superficie de agua época lluviosa, 2018, Embalse Cerrón Grande*



*Nota:* Superficie en color azul representa la superficie de agua y en color verde a la vegetación. El título y las leyendas del gráfico de la derecha fueron generadas por defecto en ingles por el software SNAP y se refieren a Histograma de clases de clasificación de superficie (agua y vegetación). Fuente de datos imágenes Sentinel 1.

**Datos**

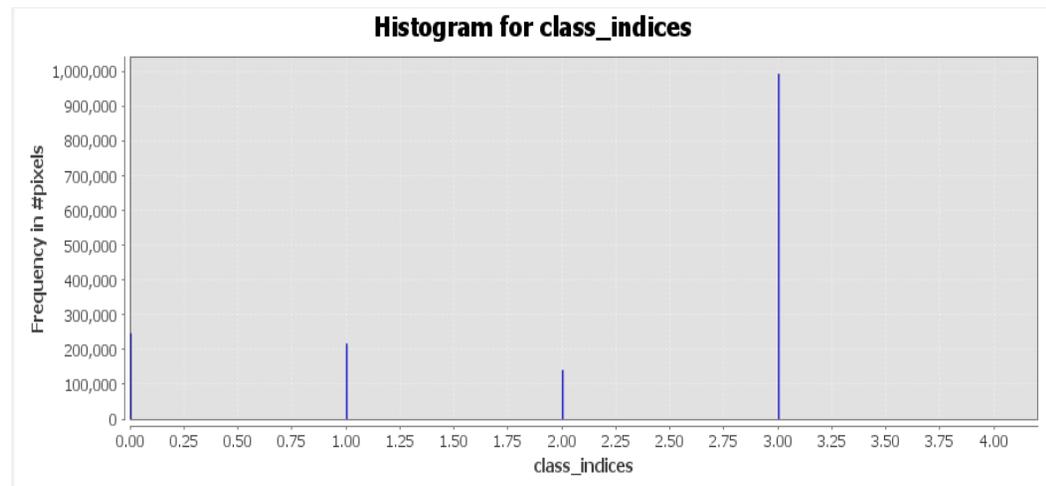
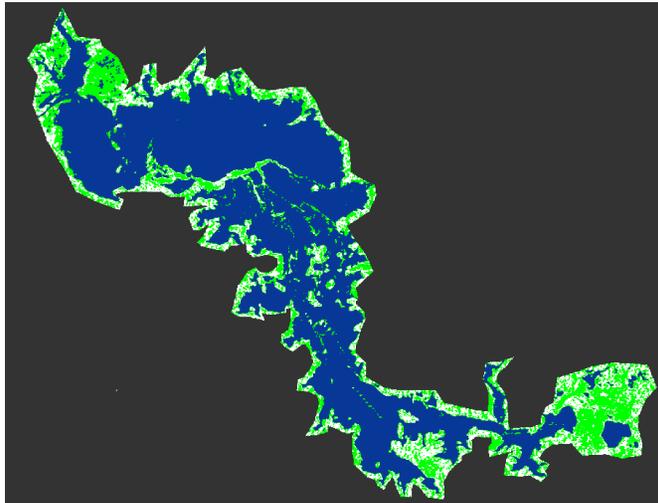
Fecha de análisis de imagen: **04 de septiembre de 2018**

Cantidad de pixeles  $974454 * 0.0001 = 97.45 \text{ Km}^2$  (superficie de agua)

Cantidad de pixeles  $230311 * 0.0001 = 23.03 \text{ Km}^2$  (ninja, vegetación)

### Figura 87.

Mapa de delimitación de superficie de agua transición época lluviosa a seca, 2018, Embalse Cerrón Grande



Nota: Superficie en color azul representa la superficie de agua y en color verde a la vegetación. El título y las leyendas del gráfico de la derecha fueron generadas por defecto en inglés por el software SNAP y se refieren a Histograma de clases de clasificación de superficie (agua y vegetación). Fuente de datos imágenes Sentinel 1.

### Datos

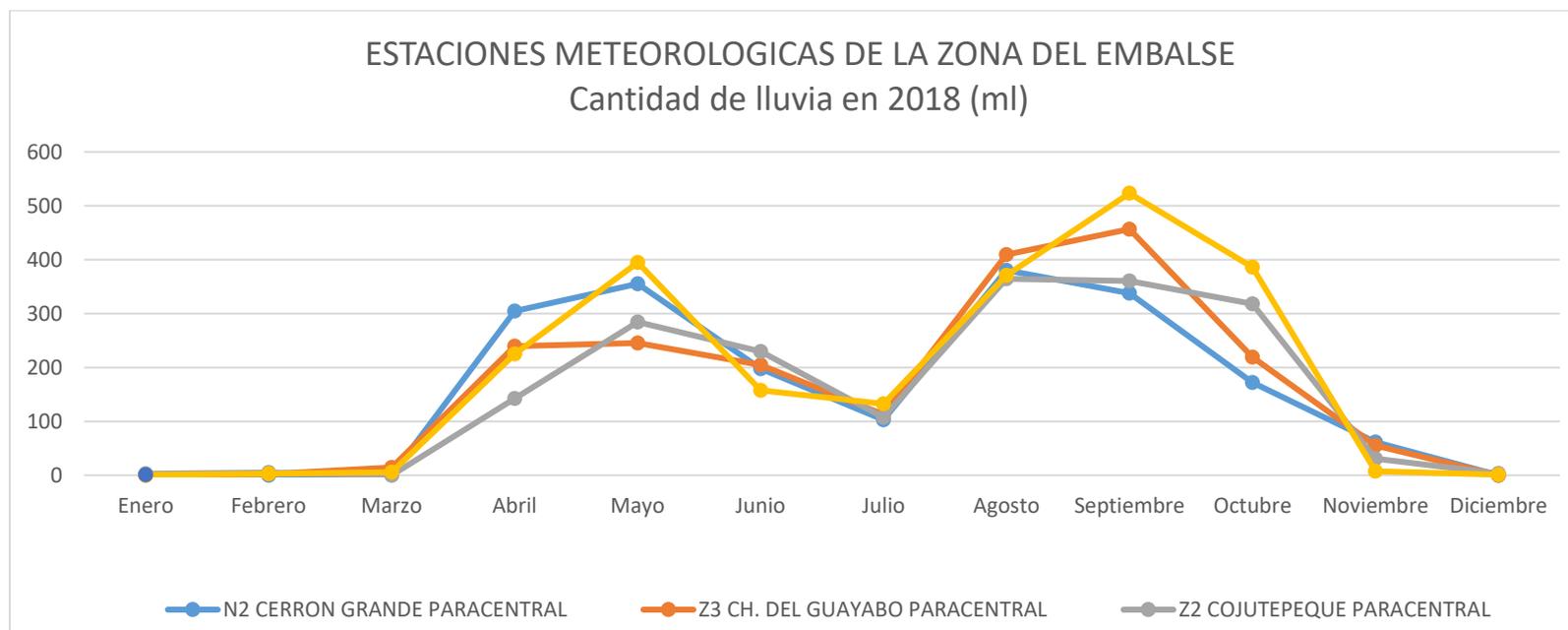
Fecha de análisis de imagen: **15 de diciembre de 2018**

Cantidad de píxeles  $994942 * 0.0001 = 99.49 \text{ Km}^2$  (superficie de agua)

Cantidad de píxeles  $247400 * 0.0001 = 24.74 \text{ Km}^2$  (ninja, vegetación)

**Figura 88.**

*Lluvia acumulada. Por cada estación meteorológica de la Zona Embalse Cerrón Grande, 2018*



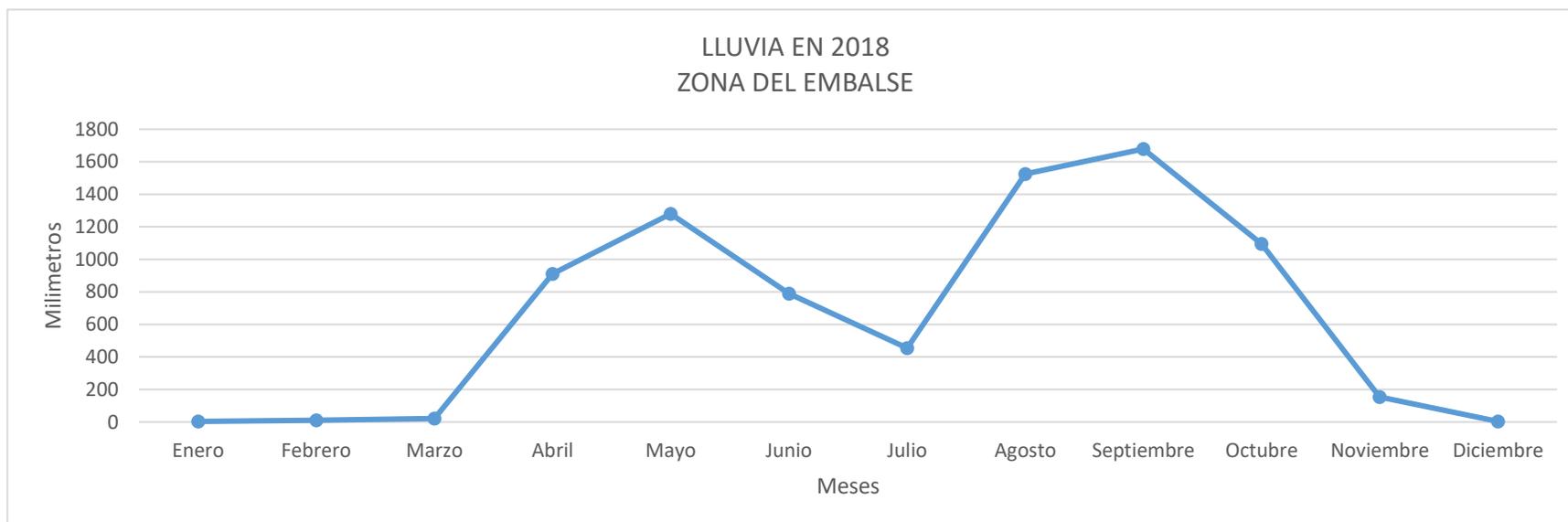
**Tabla 11.**

*Lluvia acumulada en zona Embalse Cerrón Grande. 2018*

Estación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Lluvia por mes	3.5	10	20.5	911.5	1279.3	789.6	455.1	1524.8	1678.2	1094.8	154.2	4.1

**Figura 89.**

*Lluvia acumulada de todas las estaciones de la Zona Embalse Cerrón Grande, 2018*



**Tabla 12.**

*Periodos de sequía entre abril y octubre de 2018 por estación meteorológica*

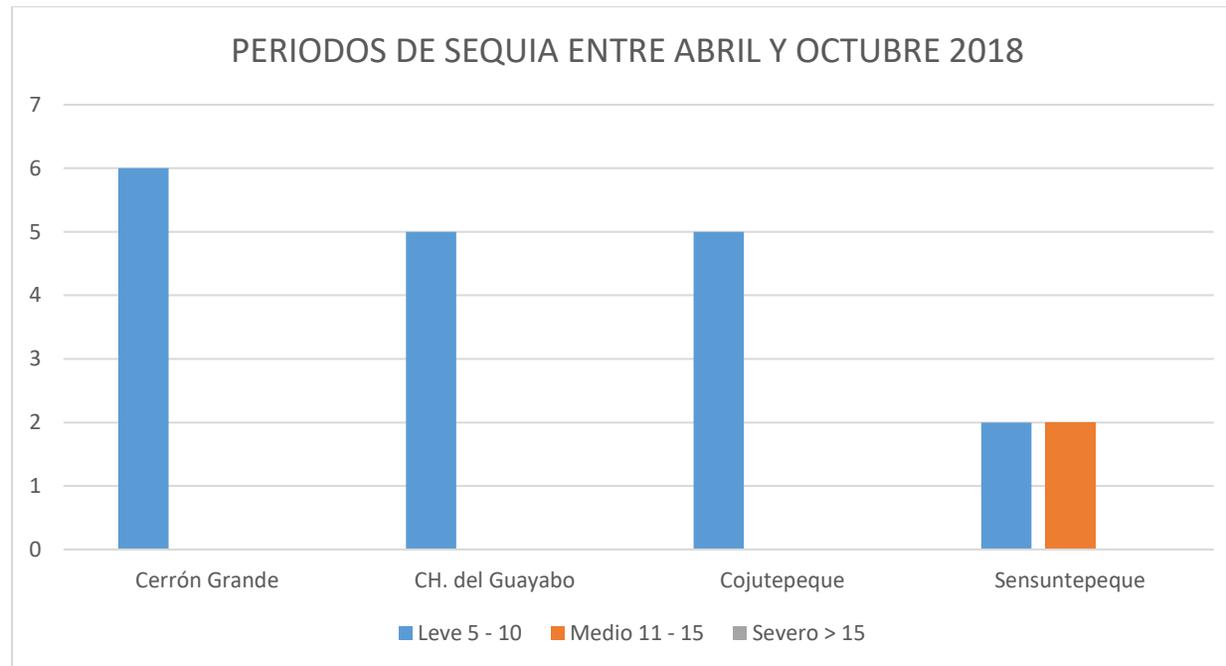
Periodos de sequía.	Cerrón Grande	CH. del Guayabo	Cojutepeque	Sensuntepeque	Total
Leve 5 - 10	6	5	5	2	18
Medio 11 - 15	0	0	0	2	2
Severo > 15	0	0	0	0	0

La época lluviosa en el año 2018 dio inicio en el mes abril y finalizó en octubre; particularmente en la zona del embalse fue el mes de octubre donde se obtuvo la mayor cantidad de lluvia acumulada; sin embargo, en julio se registró una disminución de lluvia de igual forma fue este mes en el que se tuvieron más periodos secos en las estaciones meteorológicas aledañas al embalse.

La cantidad de lluvia registrada en el año 2018 en las cuatro estaciones meteorológicas ubicadas en el área del embalse fue de 7,925.6 mm.

**Figura 90.**

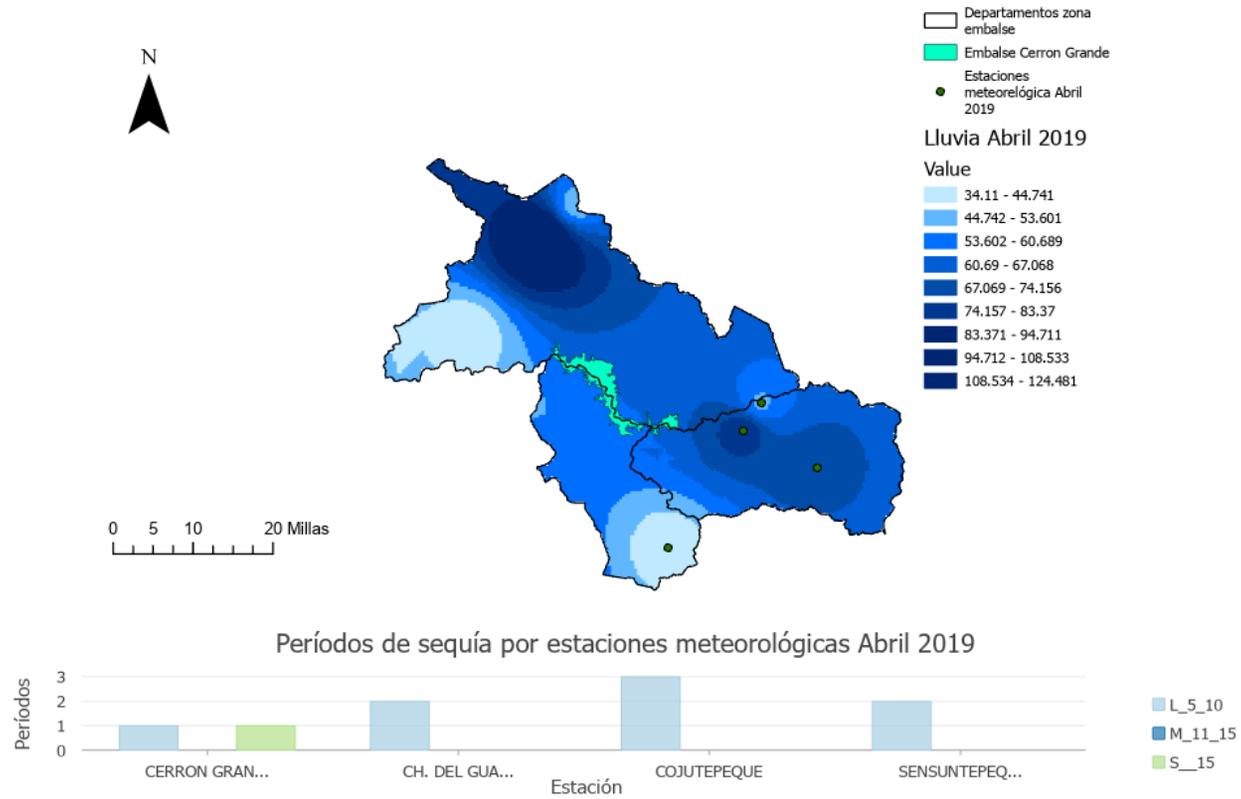
*Periodos secos en la zona Embalse Cerrón Grande, 2018*



## Datos de precipitación año 2019

**Figura 91.**

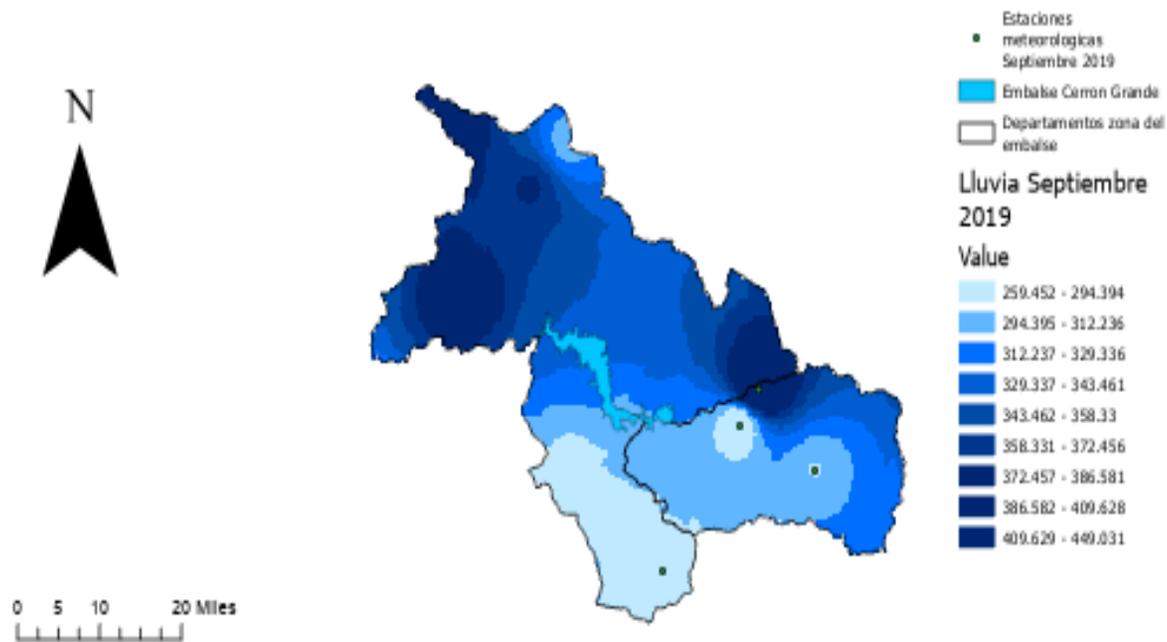
*Cantidad de lluvia y periodos secos en zona Embalse Cerrón Grande, abril, 2019*



*Nota:* La imagen fue elaborada en software ArcGIS Pro. Fuente datos meteorológicos del MARN.

**Figura 92.**

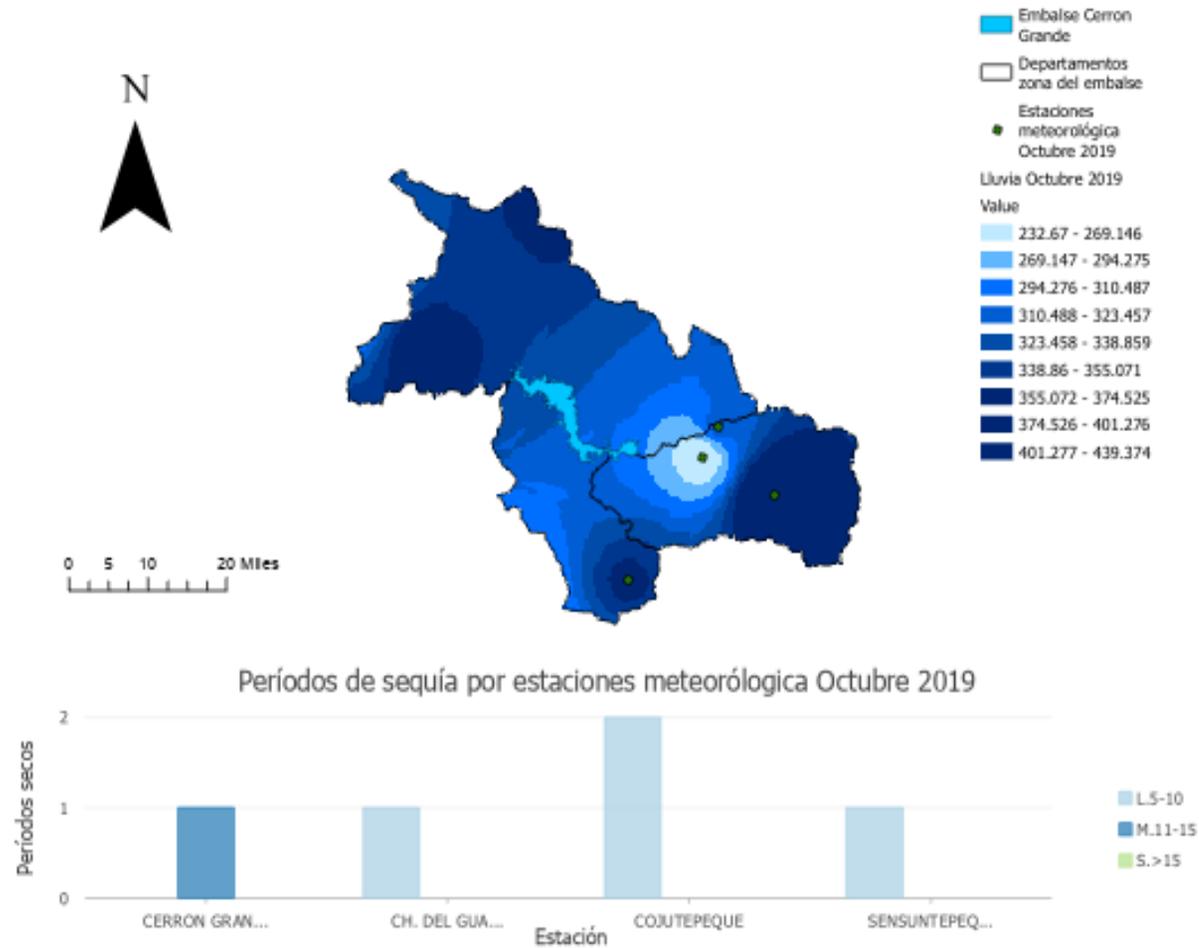
Cantidad de lluvia y periodos secos en zona Embalse Cerrón Grande, septiembre, 2019



*Nota:* La imagen fue elaborada en software ArcGIS Pro. Fuente datos meteorológicos del MARN.

**Figura 93.**

*Cantidad de lluvia y periodos secos en zona Embalse Cerrón Grande, octubre, 2019*



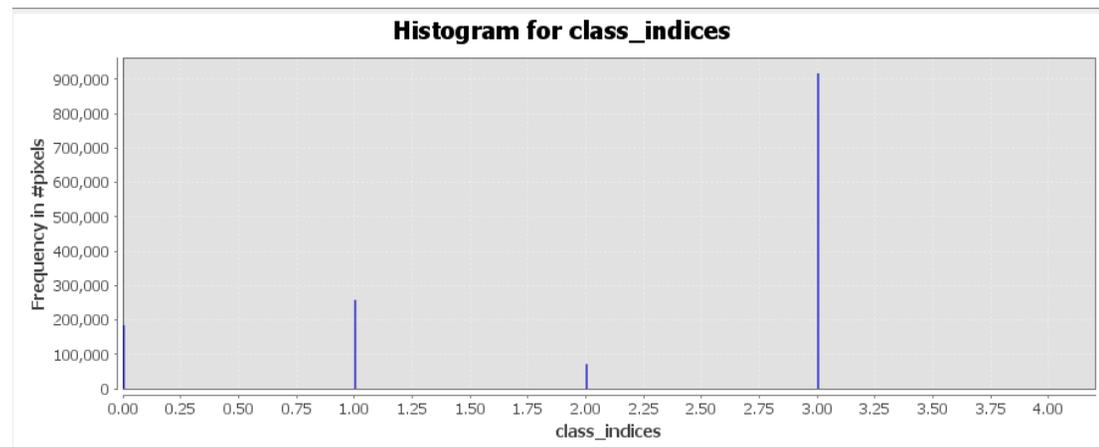
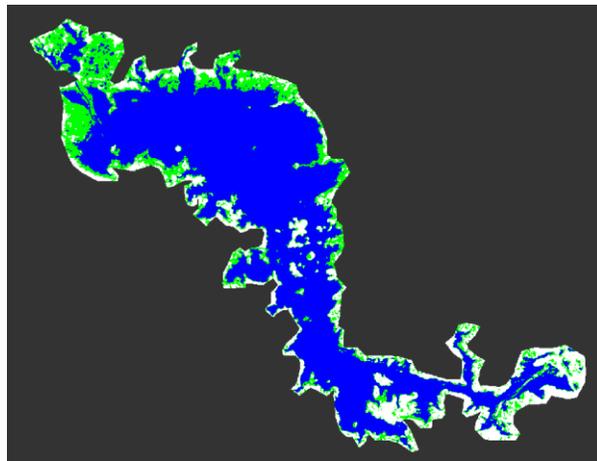
*Nota:* La imagen fue elaborada en software ArcGIS Pro. Fuente datos meteorológicos del MARN.

## Análisis de variación de superficie de agua 2019, utilizando SNAP.

### Embalse Cerrón Grande

#### Figura 94.

Mapa de delimitación de superficie de agua transición época seca a lluviosa, 2019, Embalse Cerrón Grande



Nota: Superficie en color azul representa la superficie de agua y en color verde a la vegetación. El título y las leyendas del gráfico de la derecha fueron generadas por defecto en inglés por el software SNAP y se refieren a Histograma de clases de clasificación de superficie (agua y vegetación). Fuente de datos imágenes Sentinel 1.

#### Datos

Fecha de análisis de imagen: **13 de enero de 2019**

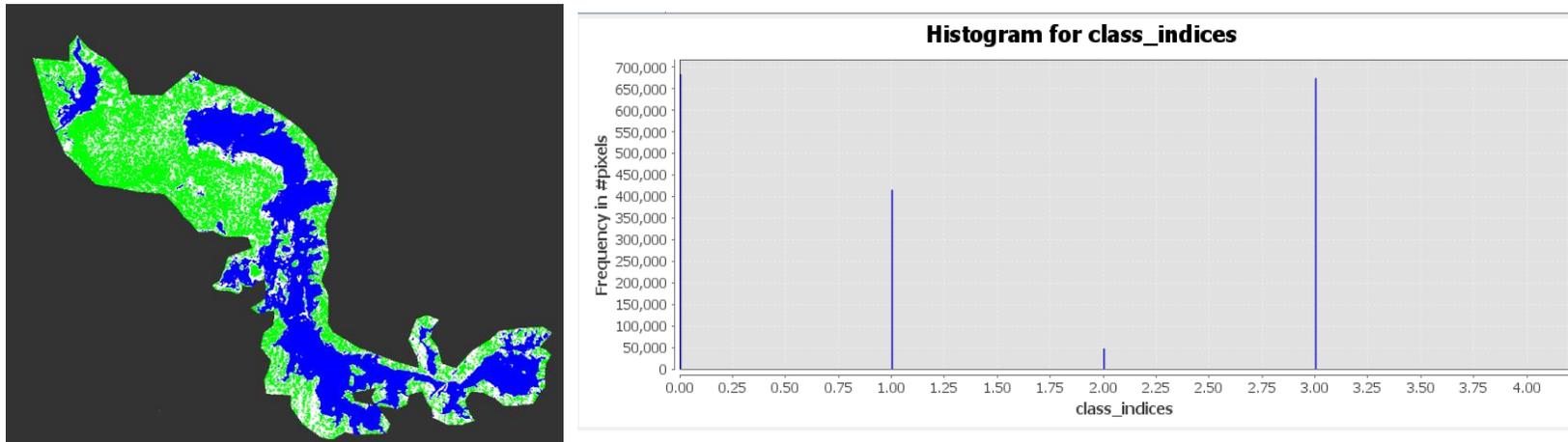
Cantidad de píxeles  $917560 * 0.0001 = 91.76 \text{ Km}^2$  (superficie de agua)

Cantidad de píxeles  $258100 * 0.0001 = 25.81 \text{ Km}^2$  (ninja, vegetación)

### Figura 95.

Mapa de delimitación de superficie de agua época lluviosa, 2019, Embalse Cerrón Grande

### Figura



*Nota:* Superficie en color azul representa la superficie de agua y en color verde a la vegetación. El título y las leyendas del gráfico de la derecha fueron generadas por defecto en inglés por el software SNAP y se refieren a Histograma de clases de clasificación de superficie (agua y vegetación). Fuente de datos imágenes Sentinel 1.

### Datos

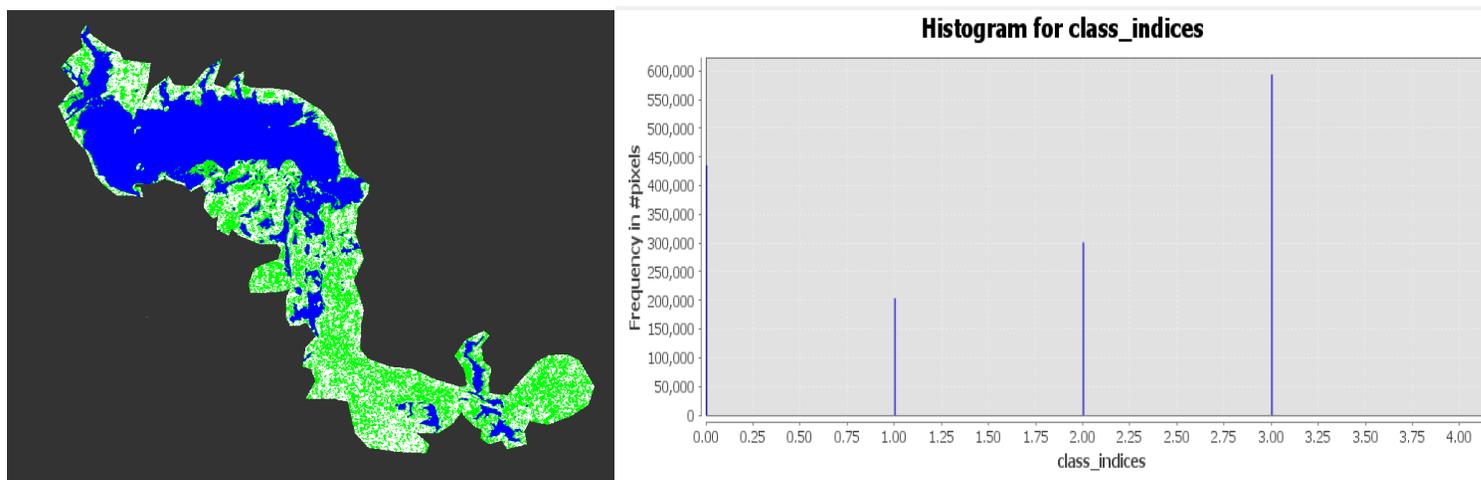
Fecha de análisis de imagen: **04 de octubre de 2019**

Cantidad de píxeles  $684260 * 0.0001 = 68.42 \text{ Km}^2$  (superficie de agua)

Cantidad de píxeles  $675178 * 0.0001 = 67.51 \text{ Km}^2$  (ninja, vegetación)

**Figura 96.**

*Mapa de delimitación de superficie de agua transición época lluviosa a seca, 2019, Embalse Cerrón Grande*



*Nota:* Superficie en color azul representa la superficie de agua y en color verde a la vegetación. El título y las leyendas del gráfico de la derecha fueron generadas por defecto en inglés por el software SNAP y se refieren a Histograma de clases de clasificación de superficie (agua y vegetación). Fuente de datos imágenes Sentinel 1.

**Datos**

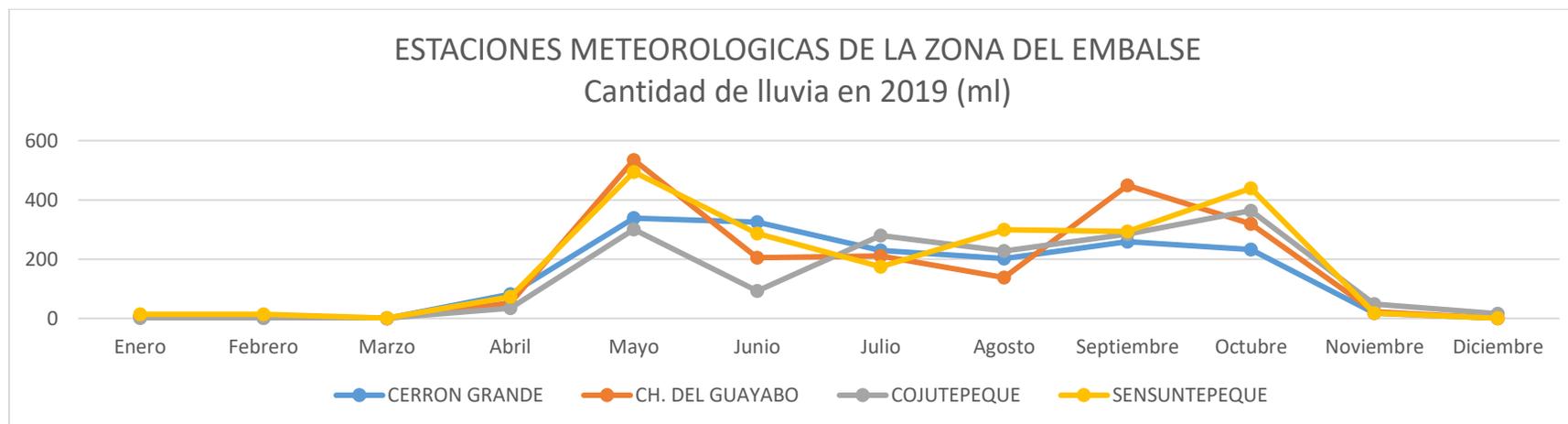
Fecha de análisis de imagen: **15 de noviembre de 2019**

Cantidad de pixeles  $593981 * 0.0001 = 59.40 \text{ Km}^2$  (superficie de agua)

Cantidad de pixeles  $247400 * 0.0001 = 50.51 \text{ Km}^2$  (ninja, vegetación)

**Figura 97.**

*Lluvia acumulada. Por cada estación meteorológica de la Zona Embalse Cerrón Grande, 2019*



**Tabla 13.**

*Lluvia acumulada en zona Embalse Cerrón Grande. 2019*

Estación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Lluvia por mes	26.9	21.4	1.9	241.1	1667.4	908.5	894.4	866	1286	1354.4	105.4	17.8

**Figura 98.**

*Lluvia acumulada de todas las estaciones de la Zona del Embalse Cerrón Grande, 2019*



La temporada de lluvias en el año 2019 dio inicio en el mes de abril y finalizó en octubre; siendo el mes de junio donde una disminución en la precipitación acumulada; en todo el periodo se tuvo un promedio de 13 días aproximadamente, entre mayo y noviembre sin registrar lluvias. La cantidad de lluvia acumulada registrada en 2019 fue de 10,716.3 mm.

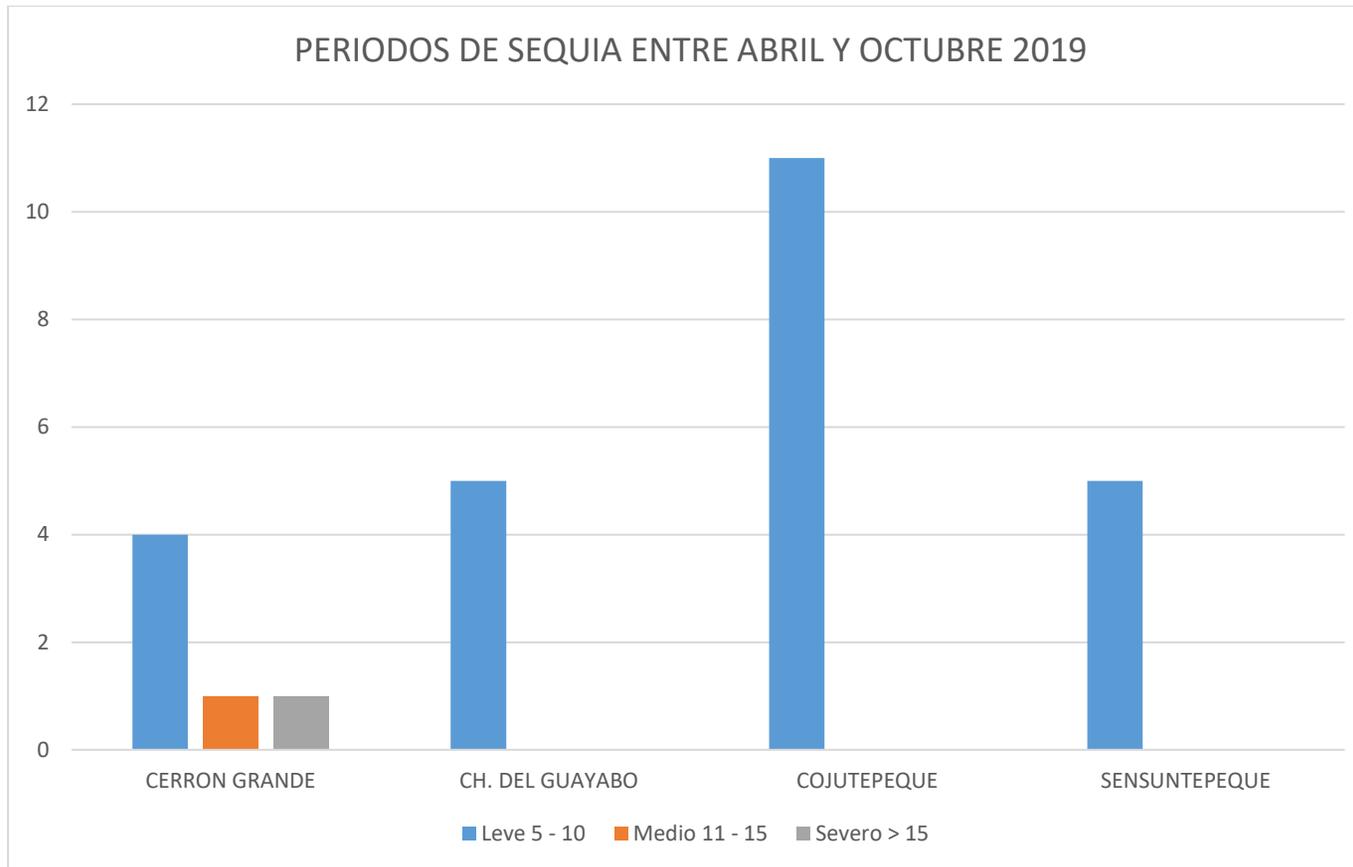
**Tabla 14.**

*Periodos de sequía entre abril y octubre 2019 por estación meteorológica.*

Períodos	CERRON GRANDE	CH. DEL GUAYABO	COJUTEPEQUE	SENSUNTEPEQUE	Total
Leve 5 - 10	4	5	11	5	25
Medio 11 - 15	1	0	0	0	1
Severo > 15	1	0	0	0	1

**Figura 99.**

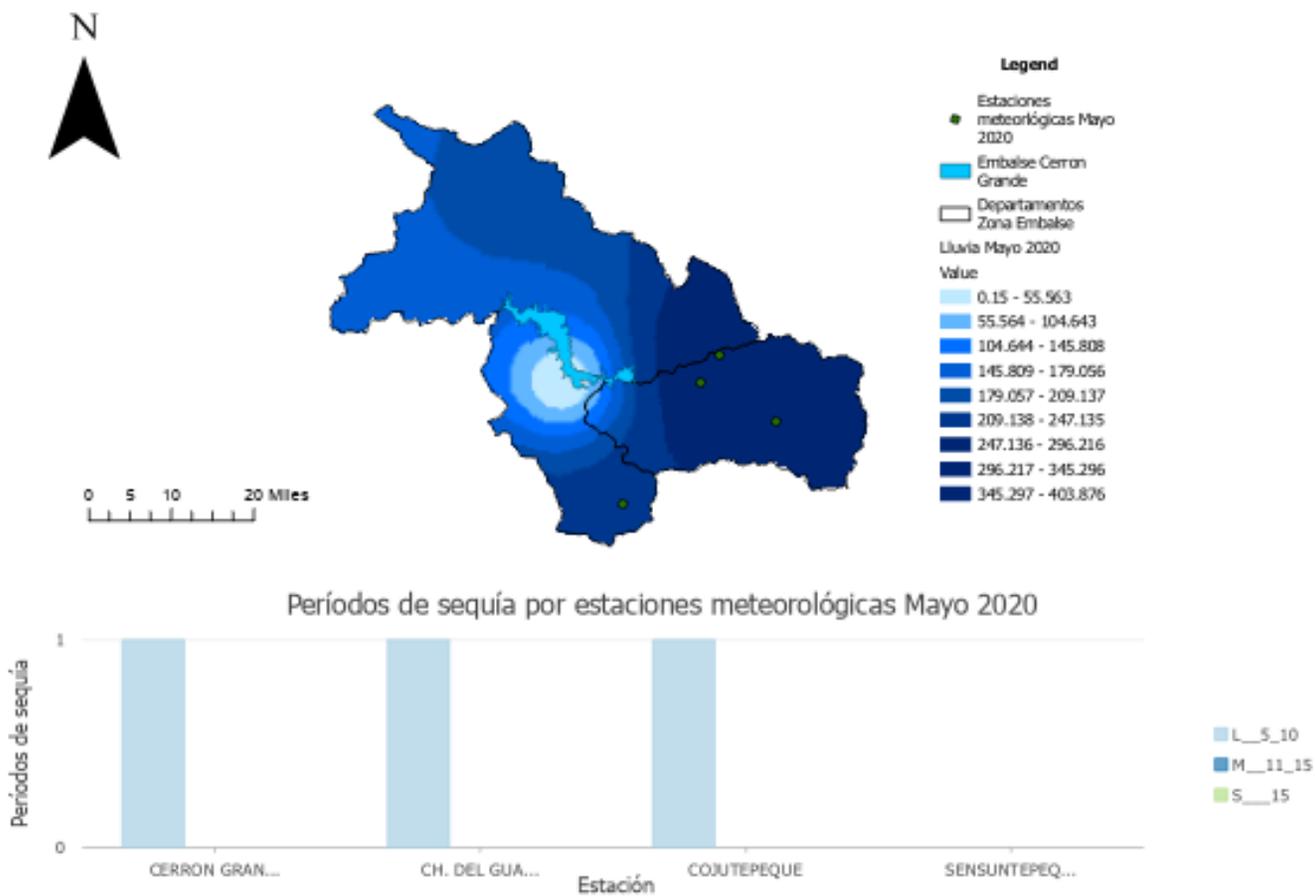
*Periodos secos en la zona del Embalse Cerrón Grande, 2019*



## Datos de precipitación año 2020

**Figura 100.**

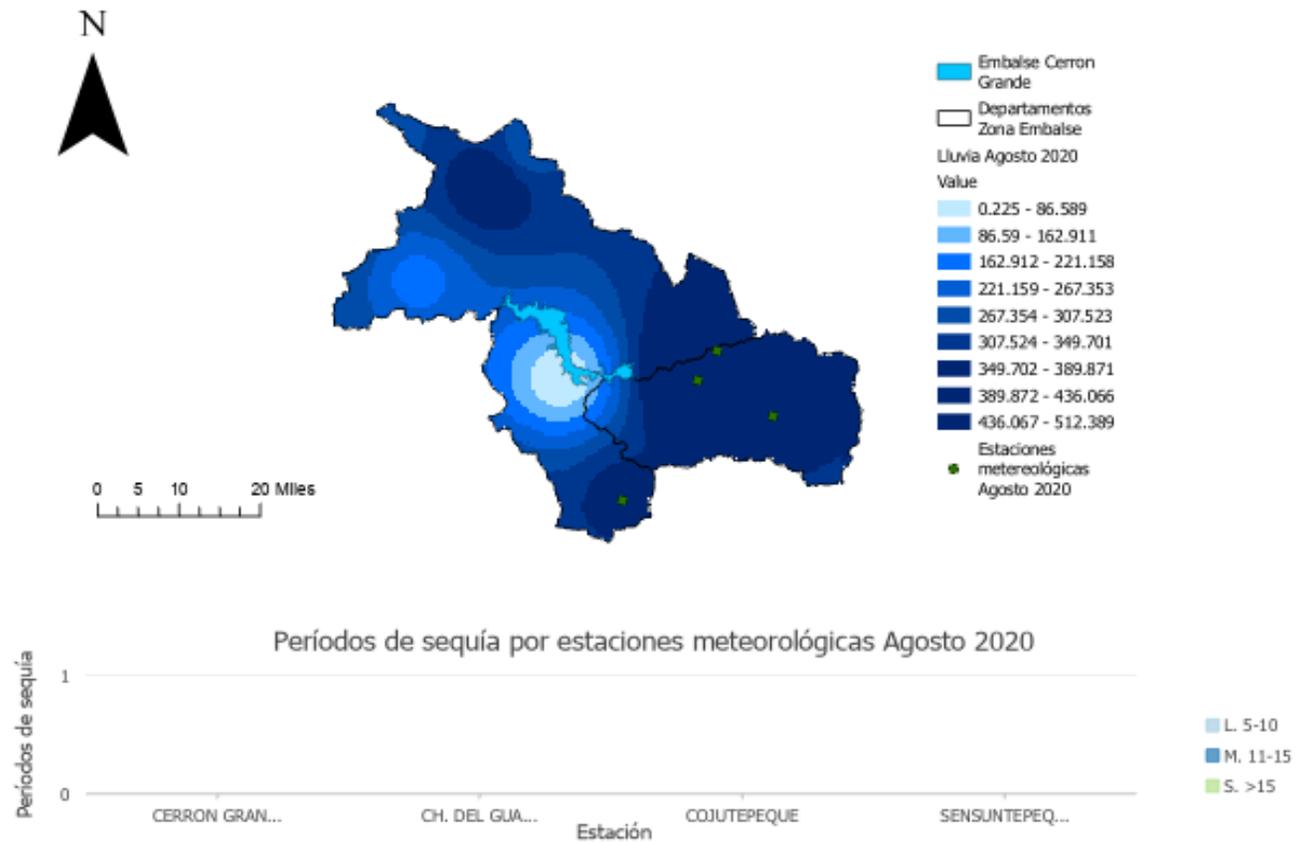
*Cantidad de lluvia y periodos secos en zona Embalse Cerrón Grande, mayo 2020*



*Nota:* La imagen fue elaborada en software ArcGIS Pro. Fuente datos meteorológicos del MARN.

**Figura 101.**

*Cantidad de lluvia y periodos secos en zona Embalse Cerrón Grande, octubre, 2020*



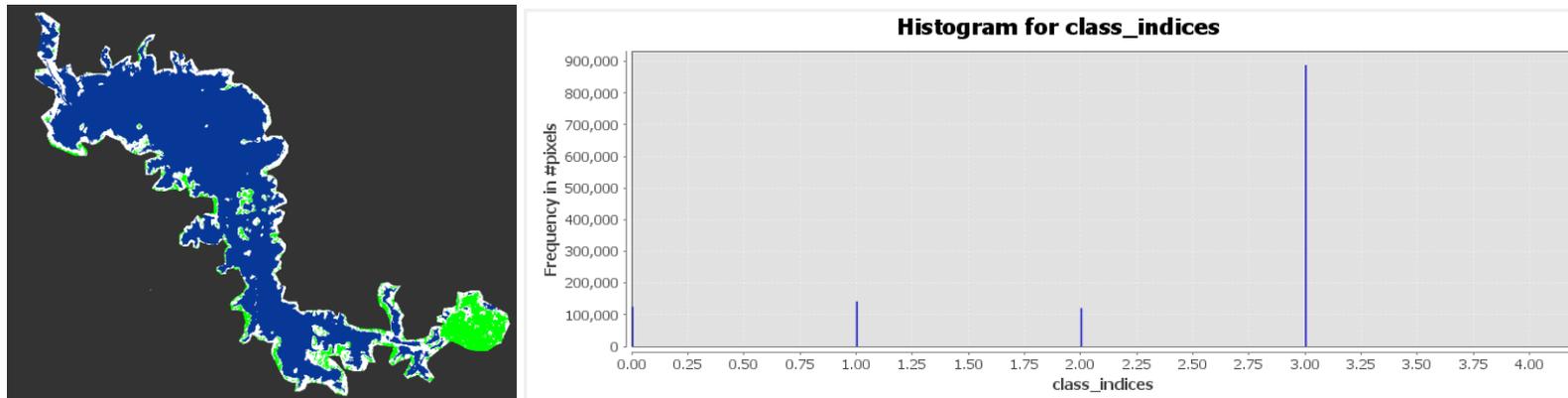
*Nota:* La imagen fue elaborada en software ArcGIS Pro. Fuente datos meteorológicos del MARN.

## Análisis de variación de superficie de agua 2020, utilizando SNAP.

### Embalse Cerrón Grande

#### Figura 102.

Mapa de delimitación de superficie de agua transición época seca a lluviosa, 2020, Embalse Cerrón Grande



*Nota:* Superficie en color azul representa la superficie de agua y en color verde a la vegetación. El título y las leyendas del gráfico de la derecha fueron generadas por defecto en inglés por el software SNAP y se refieren a Histograma de clases de clasificación de superficie (agua y vegetación). Fuente de datos imágenes Sentinel 1.

#### Datos

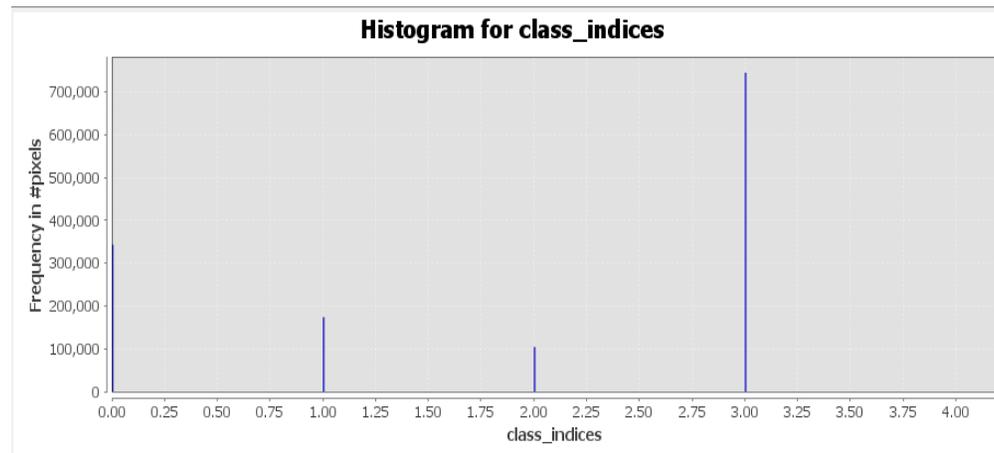
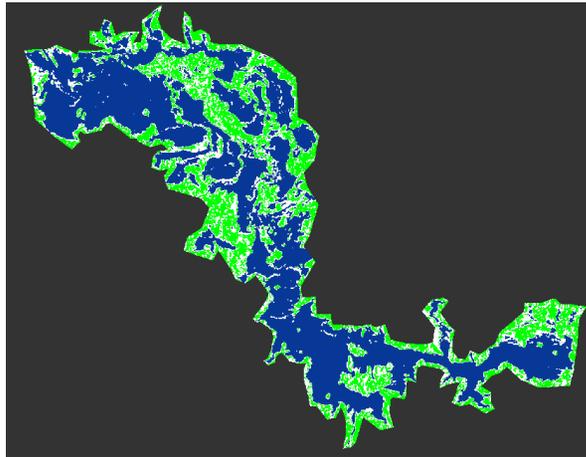
Fecha de análisis de imagen: **13 de marzo de 2020**

Cantidad de píxeles  $888705 * 0.0001 = \mathbf{88.87 \text{ Km}^2}$  (superficie de agua)

Cantidad de píxeles  $121171 * 0.0001 = \mathbf{12.11 \text{ Km}^2}$  (ninja, vegetación)

**Figura 103.**

*Mapa de delimitación de superficie de agua época lluviosa, 2020, Embalse Cerrón Grande*



*Nota:* Superficie en color azul representa la superficie de agua y en color verde a la vegetación. El título y las leyendas del gráfico de la derecha fueron generadas por defecto en ingles por el software SNAP y se refieren a Histograma de clases de clasificación de superficie (agua y vegetación). Fuente de datos imágenes Sentinel 1.

**Datos**

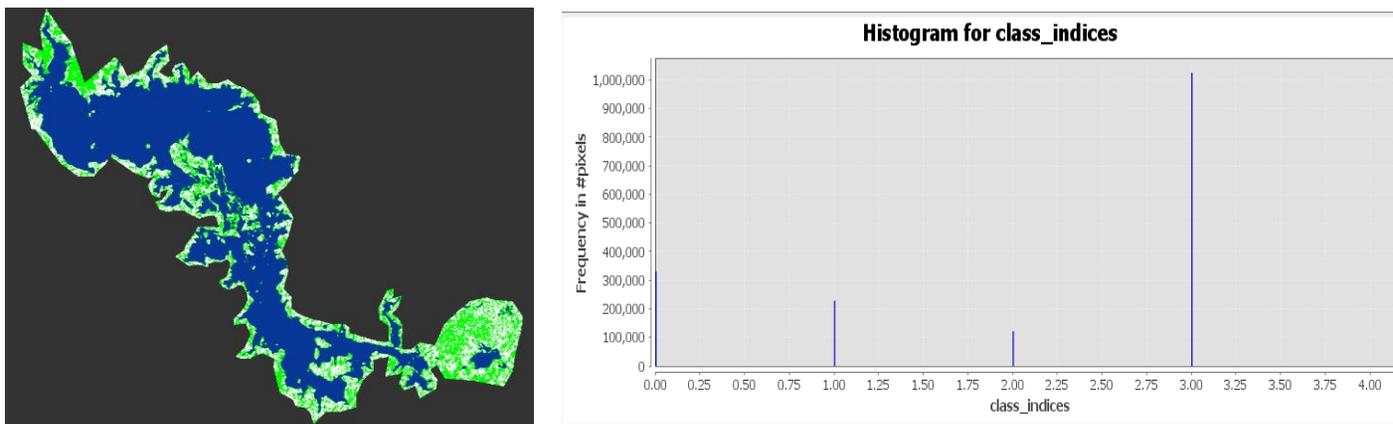
Fecha de análisis de imagen: 04 de septiembre de 2020

Cantidad de pixeles 744938 \* 0.0001 = **74.49 Km<sup>2</sup> (superficie de agua)**

Cantidad de pixeles 343096\* 0.0001 = **34.30 Km<sup>2</sup> (ninja, vegetación)**

### Figura 104.

Mapa de delimitación de superficie de agua transición época lluviosa a seca, 2020, Embalse Cerrón Grande



*Nota:* Superficie en color azul representa la superficie de agua y en color verde a la vegetación. El título y las leyendas del gráfico de la derecha fueron generadas por defecto en inglés por el software SNAP y se refieren a Histograma de clases de clasificación de superficie (agua y vegetación). Fuente de datos imágenes Sentinel 1.

### Datos

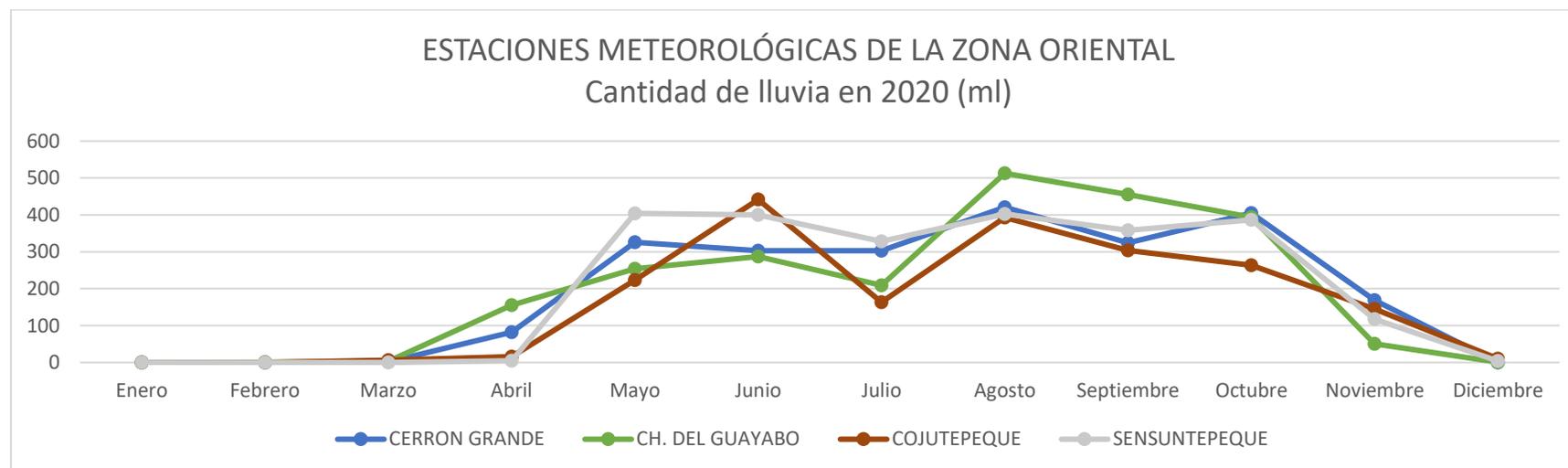
Fecha de análisis de imagen: **15 de diciembre de 2020**

Cantidad de píxeles  $1025166 * 0.0001 = 102.51 \text{ Km}^2$  (superficie de agua)

Cantidad de píxeles  $247400 * 0.0001 = 33.04 \text{ Km}^2$  (ninja, vegetación)

**Figura 105.**

*Lluvia acumulada. Por cada estación meteorológica de la Zona del Embalse Cerrón Grande, 2020*



**Tabla 15.**

*Lluvia acumulada en Zona Embalse Cerrón Grande. 2020*

Estación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Lluvia por mes (mm)	0.3	0.8	11.5	258.1	1206.9	1431.4	1002.7	1727.6	1440.4	1447.8	481.8	15.1

Figura 106.

*Lluvia acumulada de todas las estaciones de la Zona del Embalse Cerrón Grande*



En el año 2020 los datos de precipitación de las primeras lluvias se registraron en el mes de abril; cabe mencionar que en este año este período se prolongó hasta el mes de noviembre; similar a los años anteriores en julio se registró una disminución en los registros de precipitación. El promedio de días secos para toda la época lluviosa fue de 11 días en su mayoría fueron considerados leves; y la cantidad de lluvia acumulada registrada en 2020 fue de 19,702.0 mm.

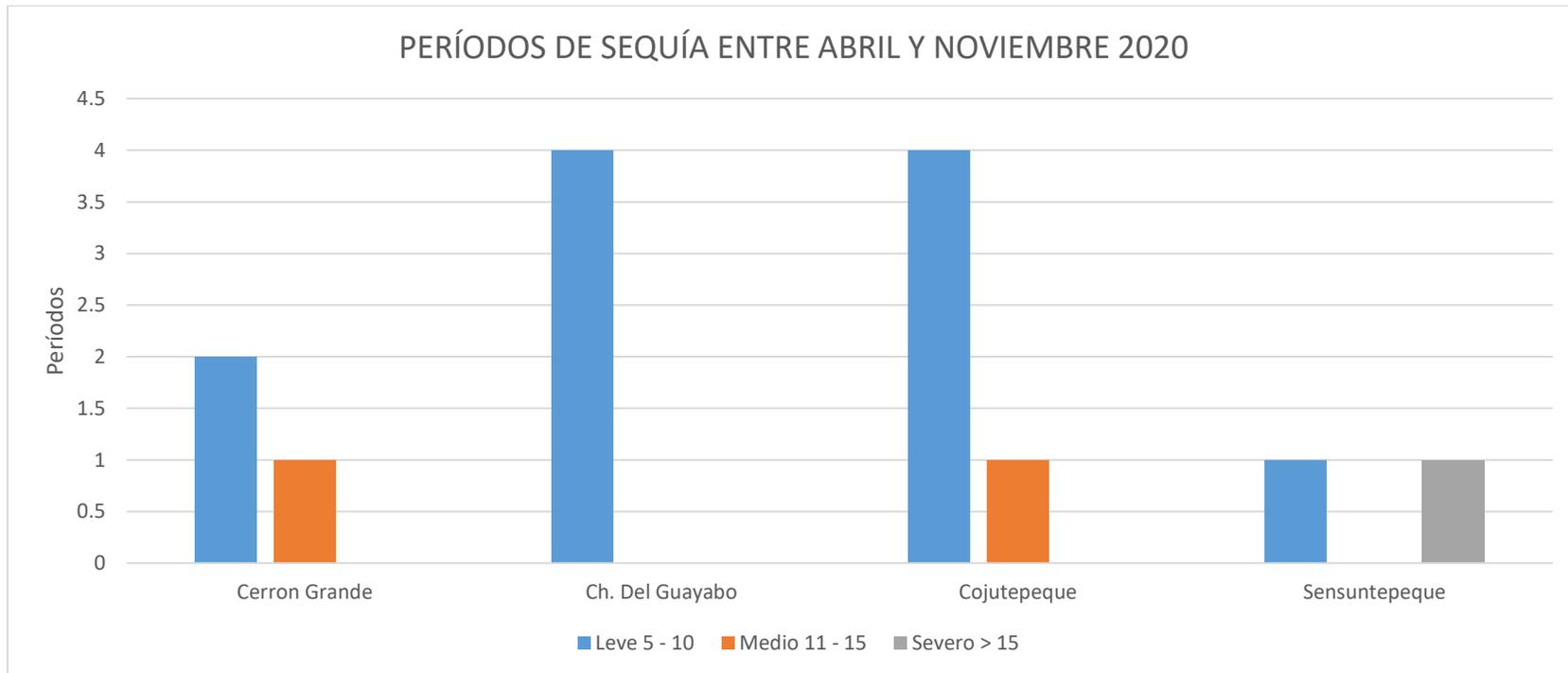
**Tabla 16.**

*Períodos de sequía entre abril y octubre 2020 por estación meteorológica*

Períodos	Cerrón Grande	Ch. Del Guayabo	Cojutepeque	Sensuntepeque	Total
Leve 5 - 10		2	4	4	11
Medio 11 - 15		1	0	1	2
Severo > 15		0	0	0	1

**Figura 107.**

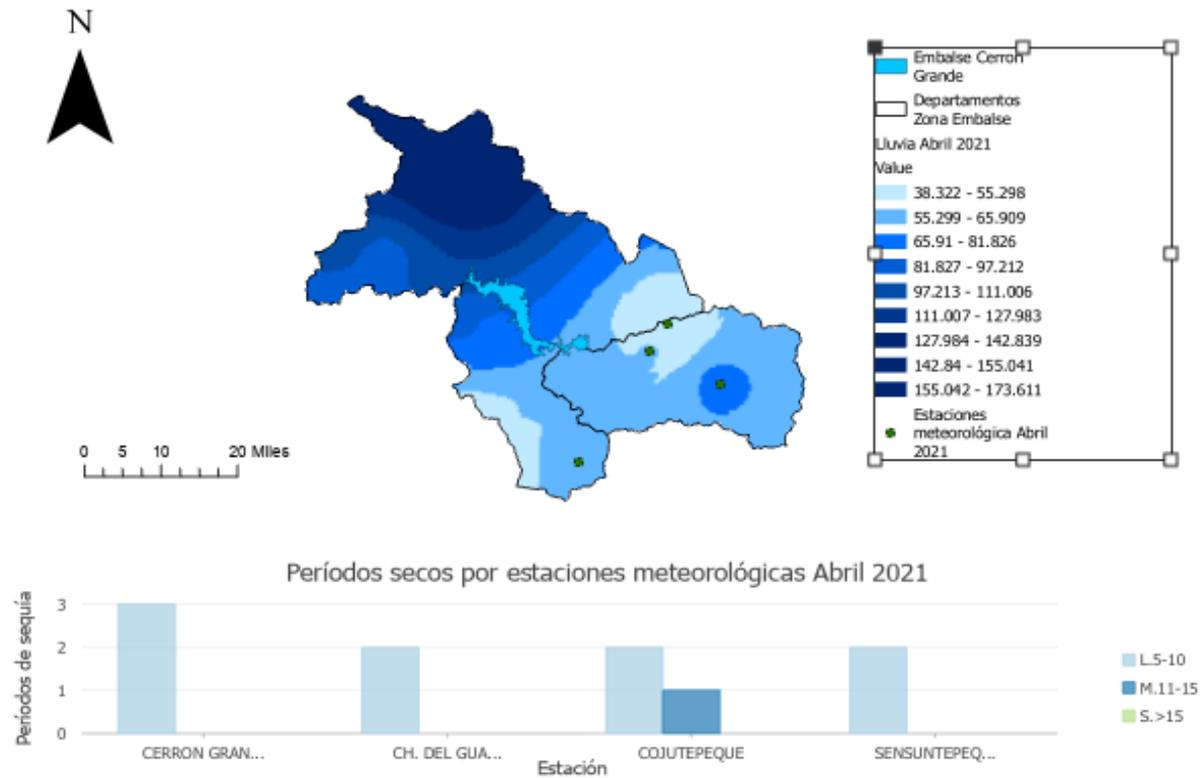
*Periodos secos en la zona del Embalse Cerrón Grande*



## Datos de precipitación año 2021

**Figura 108.**

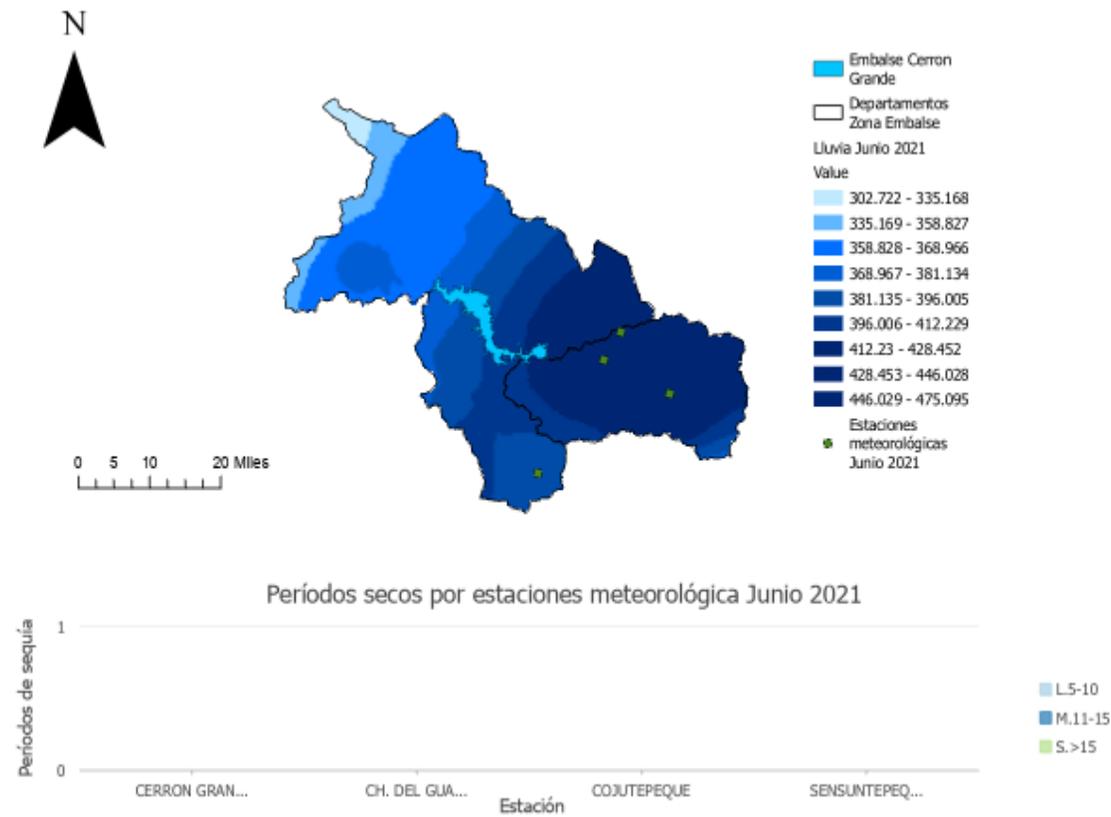
*Cantidad de lluvia y periodos secos en zona Embalse Cerrón Grande, abril 2021*



*Nota:* La imagen fue elaborada en software ArcGIS Pro. Fuente datos meteorológicos del MARN.

**Figura 109.**

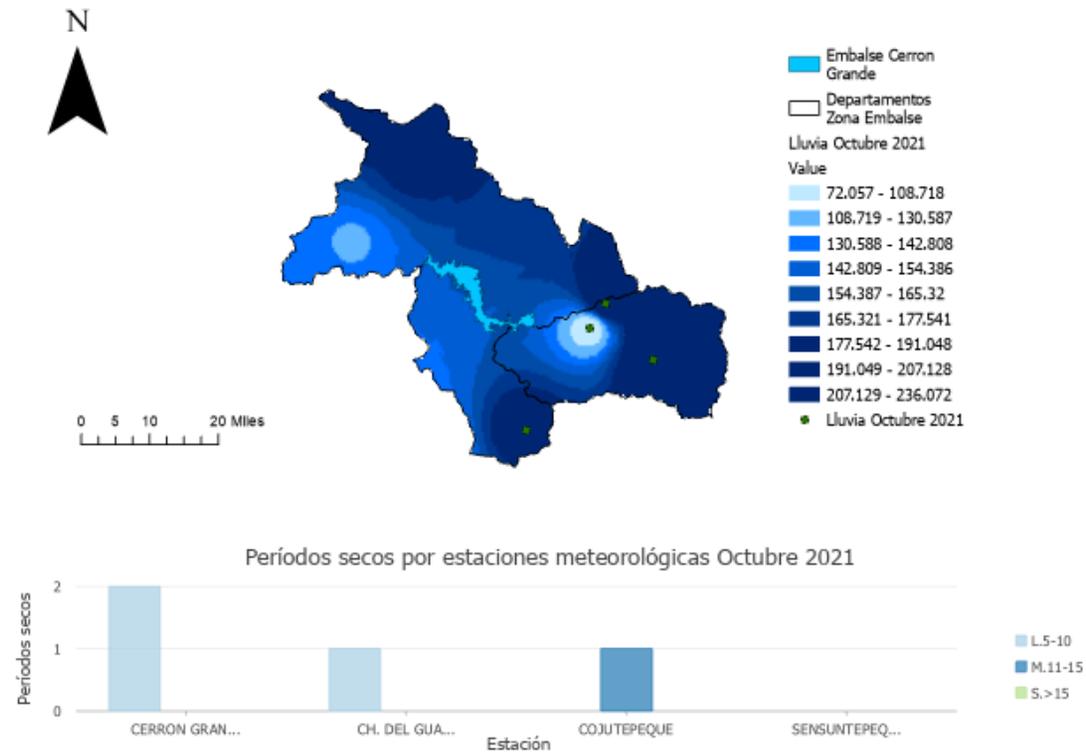
*Cantidad de lluvia y periodos secos en zona Embalse Cerrón Grande, junio, 2021*



*Nota:* La imagen fue elaborada en software ArcGIS Pro. Fuente datos meteorológicos del MARN.

**Figura 110.**

*Cantidad de lluvia y periodos secos en zona Embalse Cerrón Grande, octubre 2021*



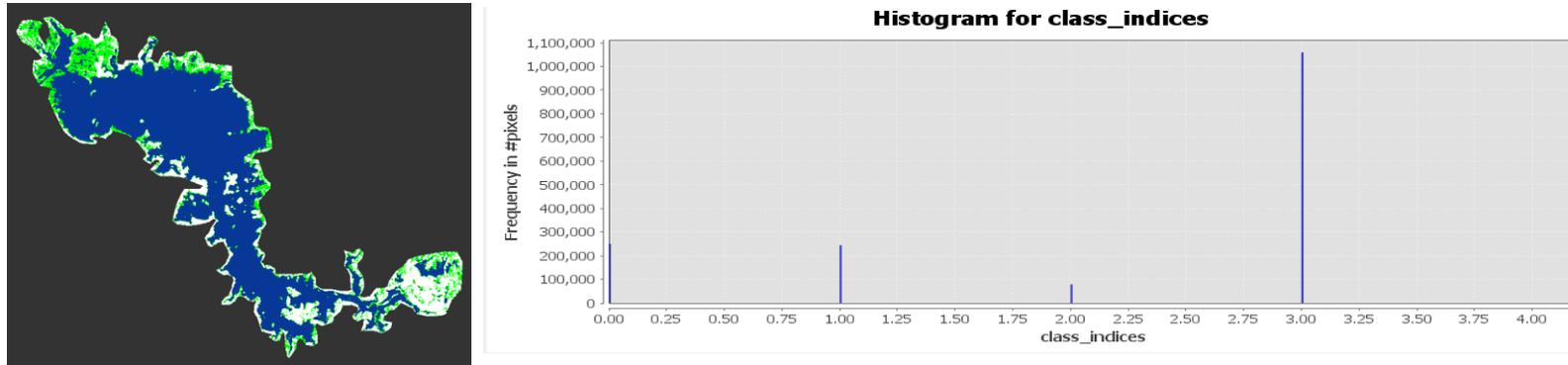
*Nota:* La imagen fue elaborada en software ArcGIS Pro. Fuente datos meteorológicos del MARN.

## Análisis de variación de superficie de agua 2021, utilizando SNAP.

### Embalse Cerrón Grande

#### Figura 111.

*Mapa de delimitación de superficie de agua transición época seca a lluviosa, 2021, Embalse Cerrón Grande*



*Nota:* Superficie en color azul representa la superficie de agua y en color verde a la vegetación. El título y las leyendas del gráfico de la derecha fueron generadas por defecto en inglés por el software SNAP y se refieren a Histograma de clases de clasificación de superficie (agua y vegetación). Fuente de datos imágenes Sentinel 1.

#### Datos

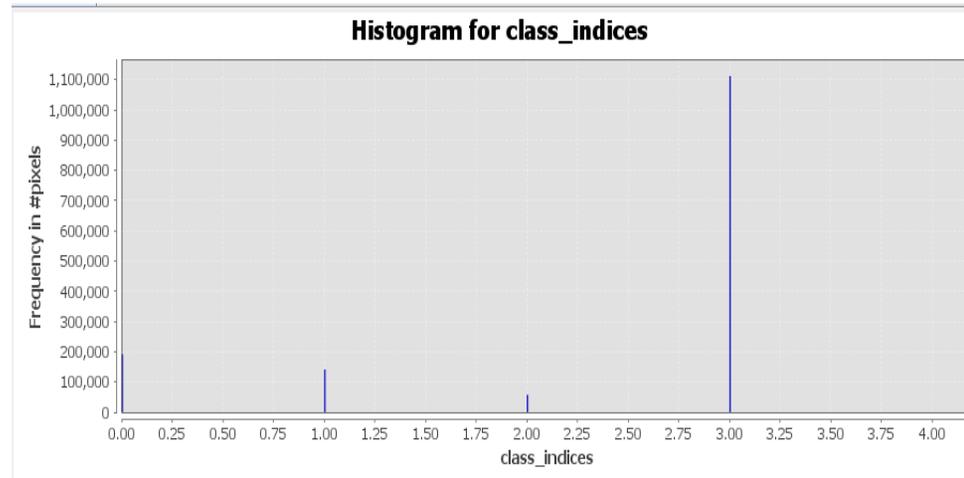
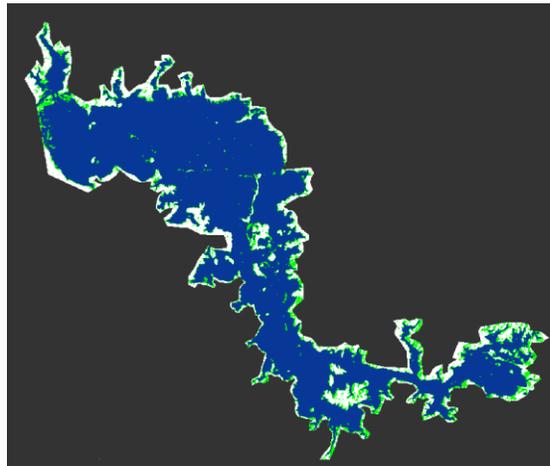
Fecha de análisis de imagen: **13 de febrero 2021**

Cantidad de píxeles **1059732\* 0.0001 = 105.97 Km<sup>2</sup> (superficie de agua)**

Cantidad de píxeles **244553\* 0.0001 = 24.46 Km<sup>2</sup> (ninja, vegetación)**

**Figura 112.**

*Mapa de delimitación de superficie de agua época lluviosa, 2021, Embalse Cerrón Grande*



*Nota:* Superficie en color azul representa la superficie de agua y en color verde a la vegetación. El título y las leyendas del gráfico de la derecha fueron generadas por defecto en ingles por el software SNAP y se refieren a Histograma de clases de clasificación de superficie (agua y vegetación). Fuente de datos imágenes Sentinel 1.

**Datos**

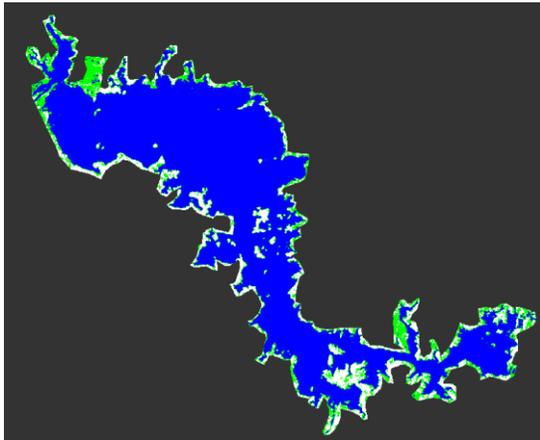
Fecha de análisis de imagen **04 de septiembre de 2021**

Cantidad de pixeles 111874\* 0.0001 = **118.87 Km<sup>2</sup> (superficie de agua)**

Cantidad de pixeles 141093\* 0.0001 = **14.11 Km<sup>2</sup> (ninja, vegetación)**

**Figura 113.**

*Mapa de delimitación de superficie de agua transición época lluviosa a seca, 2021, Embalse Cerrón Grande*



*Nota:* Superficie en color azul representa la superficie de agua y en color verde a la vegetación. Fuente de datos imágenes Sentinel 1.

**Datos**

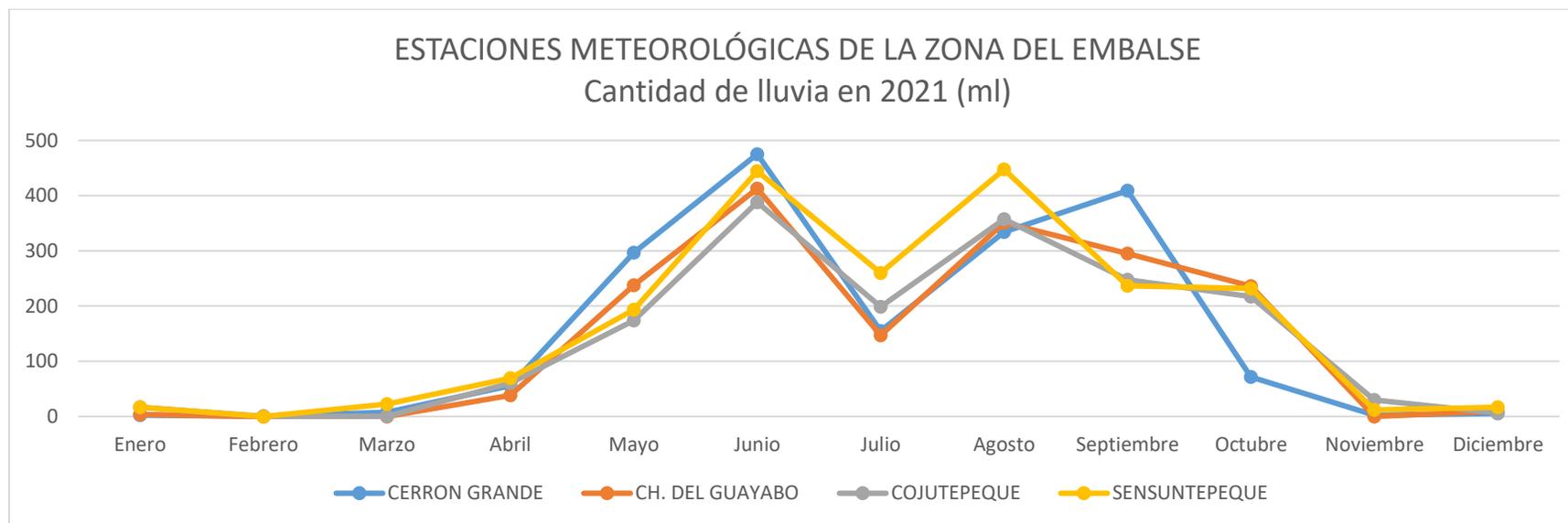
Fecha de análisis de imagen **15 de noviembre de 2021**

Cantidad de pixeles  $1126115 * 0.0001 = 142.61 \text{ Km}^2$  (**superficie de agua**)

Cantidad de pixeles  $180115 * 0.0001 = 18.01 \text{ Km}^2$  (**ninfa, vegetación**)

**Figura 114.**

*Lluvia acumulada. Por cada estación meteorológica de la Zona del Embalse Cerrón Grande, 2021*



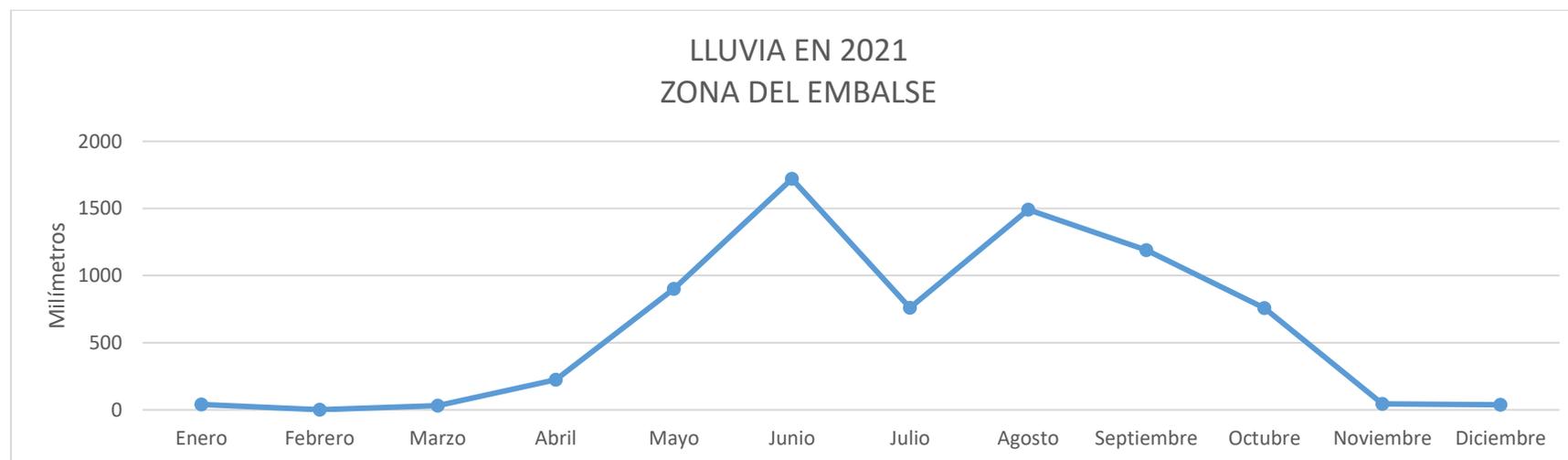
**Tabla 17.**

*Lluvia acumulada en Zona Embalse Cerrón Grande. 2021*

Estación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Lluvia por mes (mm)	39.3	0.7	30.8	224.4	901.7	1720.3	760.4	1490.2	1188.7	757.2	44.5	38.5

**Figura 115.**

*Lluvia acumulada de todas las estaciones de la Zona del Embalse Cerrón Grande*



Abril fue el mes en que dio inicio la época lluviosa en el año 2021; ésta se extendió hasta el mes de en noviembre, por ello el valor de lluvia acumulada fue mayor que en años anteriores y fue de 13,691.5 mm tomando en cuenta solo as estaciones aledañas al embalse; cabe mencionar que en este año fue en julio mes en el cual hubo se registró menor de lluvia; y se tuvieron periodos secos de hasta por 15 días.

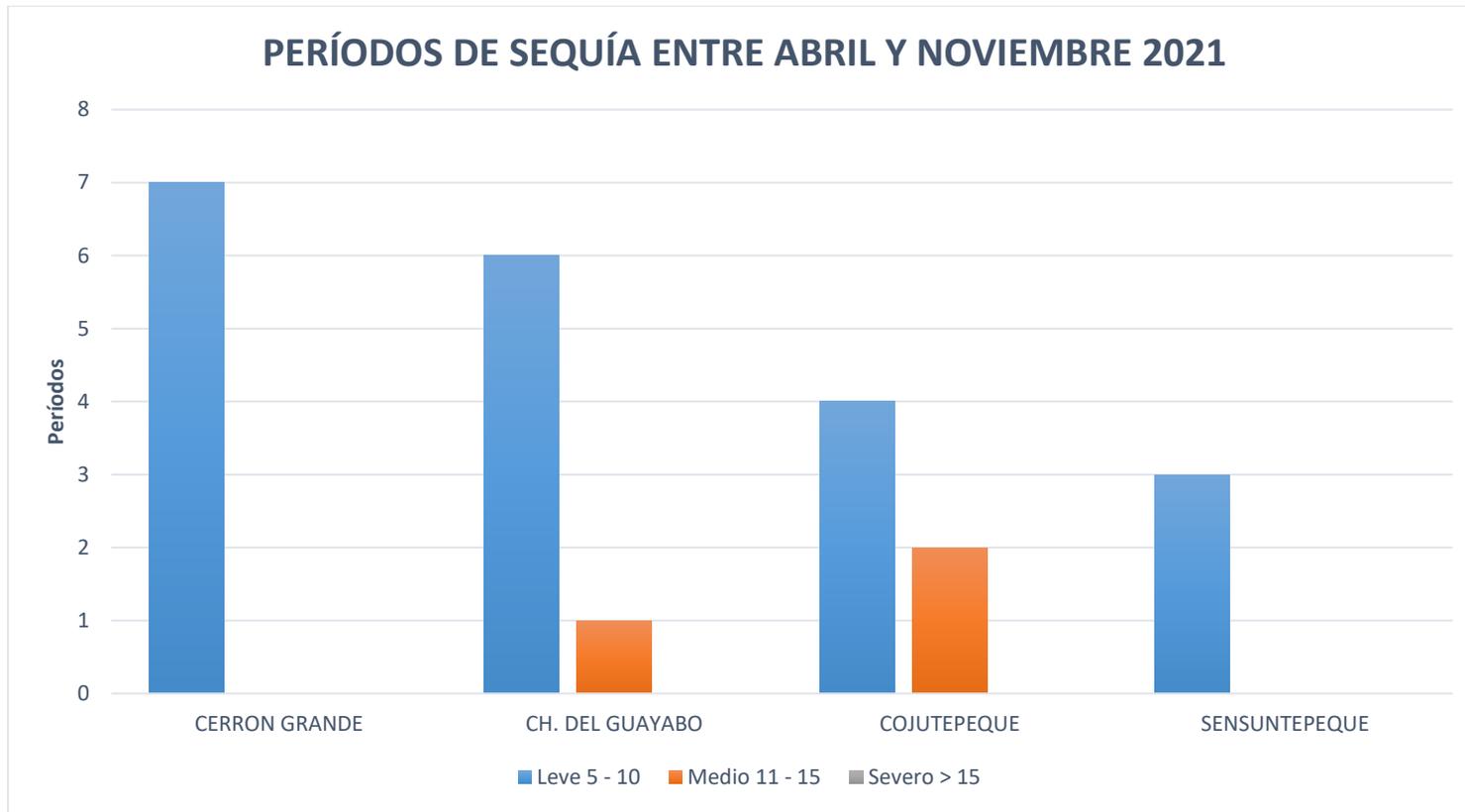
**Tabla 18.**

*Periodos de sequía entre abril y octubre 2021 por estación meteorológica*

Períodos	Cerrón Grande	Ch. del Guayabo	Cojutepeque	Sensuntepeque	Total
Leve 5 - 10	7	6	4	3	20
Medio 11 - 15	0	1	2	0	3
Severo > 15	0	0	0	0	0

**Figura 116.**

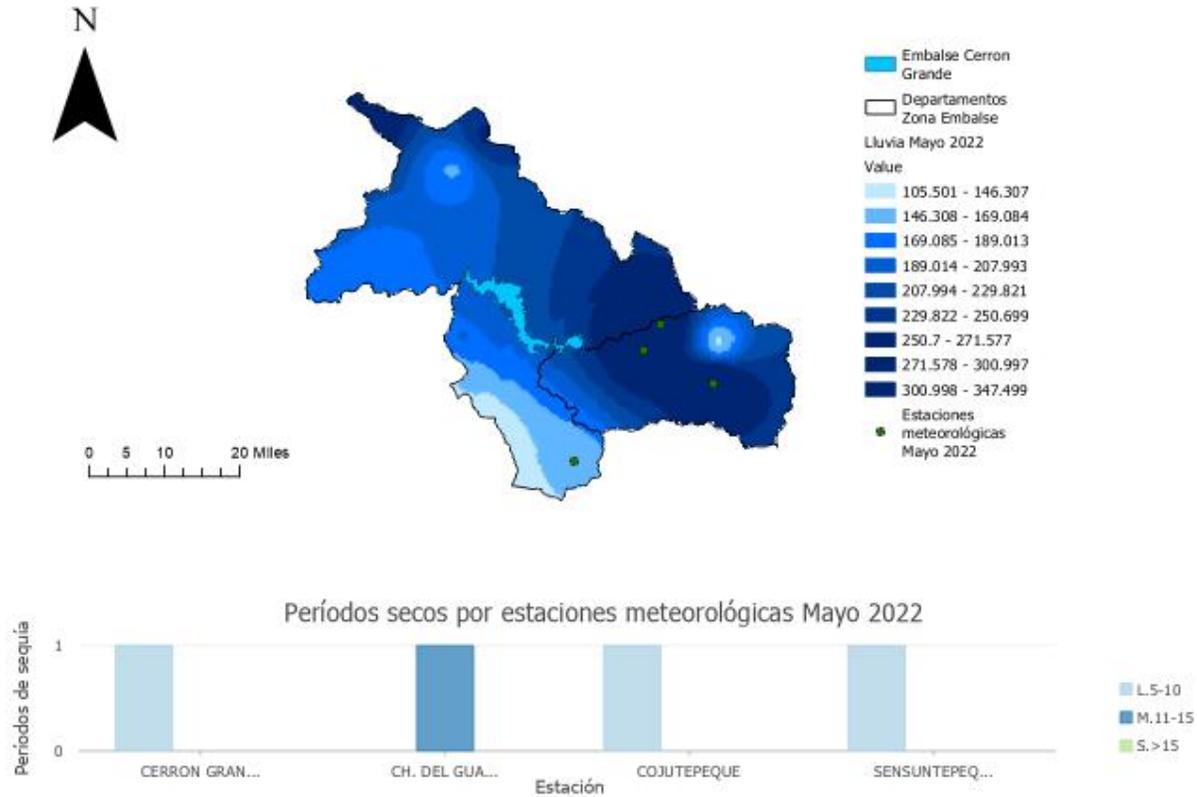
*Periodos secos en la zona del Embalse Cerrón Grande, 2021*



## Datos de precipitación año 2022

**Figura 117.**

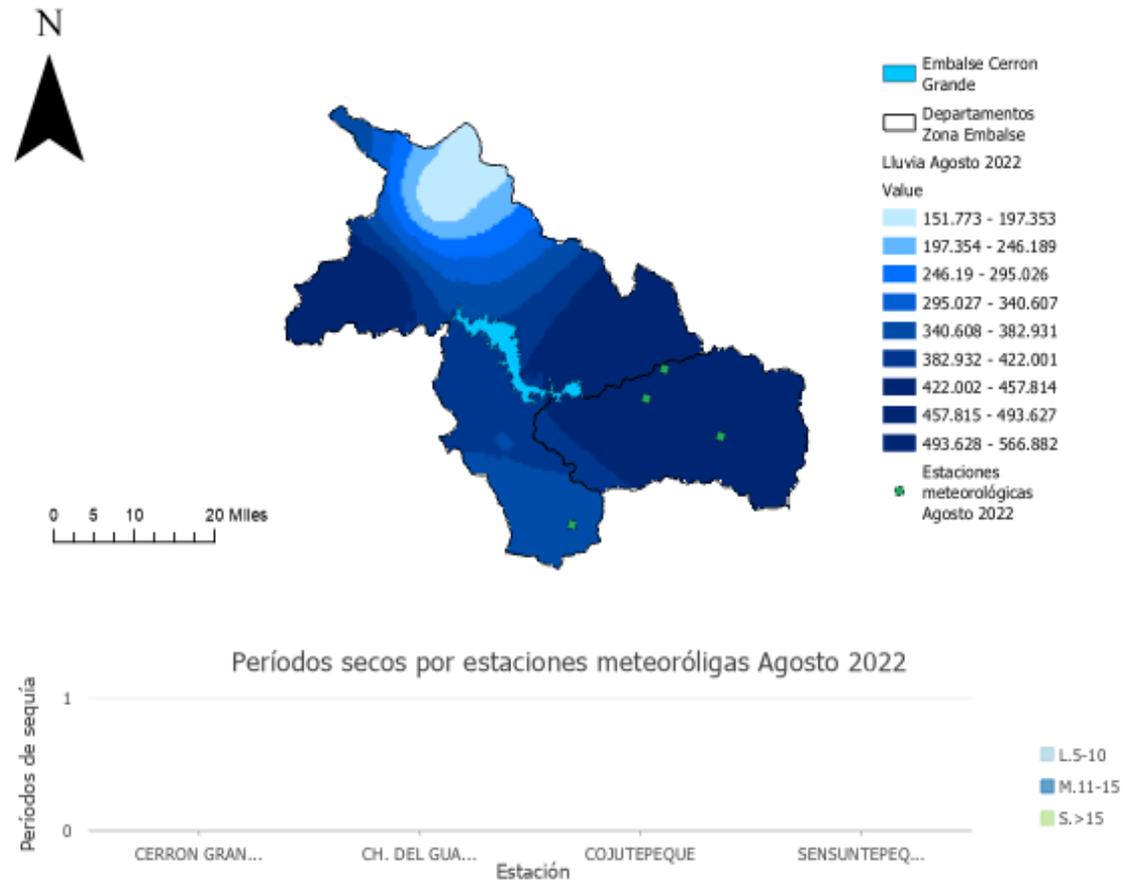
*Cantidad de lluvia y periodos secos en zona Embalse Cerrón Grande, mayo, 2022*



*Nota:* La imagen fue elaborada en software ArcGIS Pro. Fuente datos meteorológicos del MARN.

**Figura 118.**

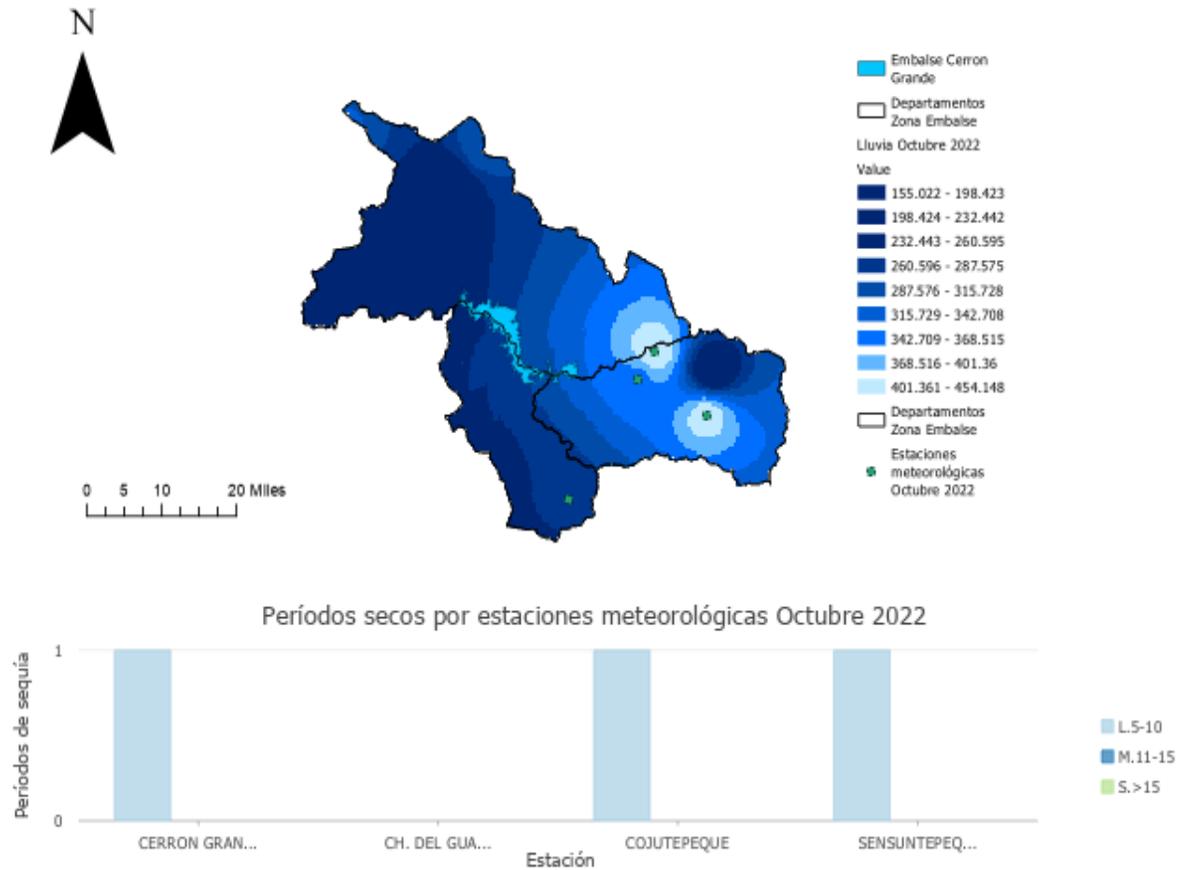
*Cantidad de lluvia y periodos secos en zona Embalse Cerrón Grande, agosto, 2022*



*Nota:* La imagen fue elaborada en software ArcGIS Pro. Fuente datos meteorológicos del MARN.

**Figura 119.**

*Cantidad de lluvia y periodos secos en zona Embalse Cerrón Grande, octubre 2022*



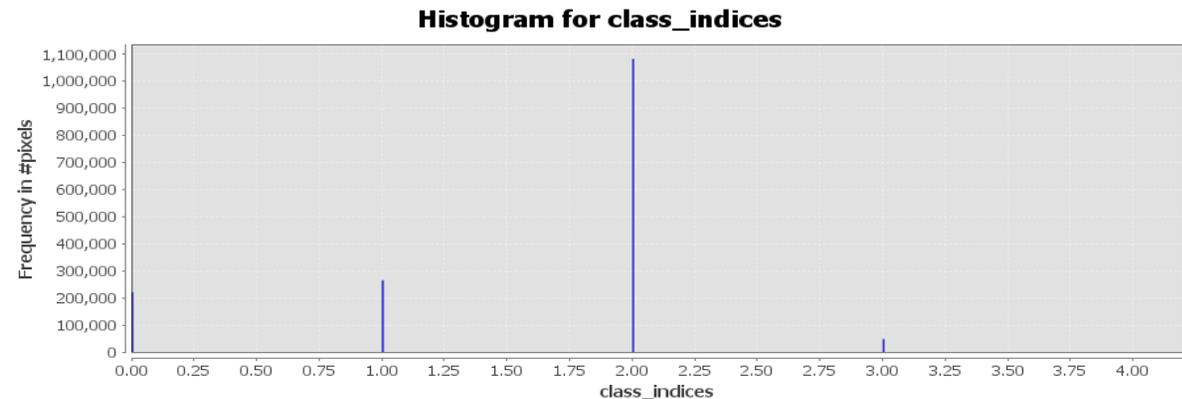
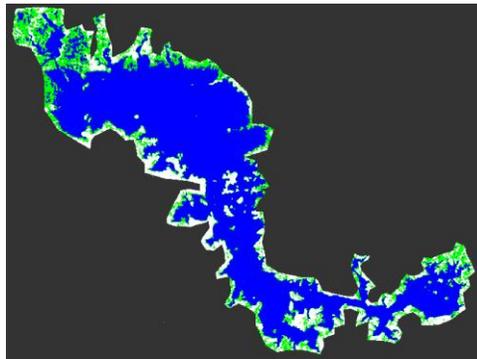
*Nota:* La imagen fue elaborada en software ArcGIS Pro. Fuente datos meteorológicos del MARN.

## Análisis de variación de superficie de agua 2022, utilizando SNAP.

### Embalse Cerrón Grande

#### Figura 120.

*Mapa de delimitación de superficie de agua transición época seca a lluviosa , 2022, Embalse Cerrón Grande*



*Nota:* Superficie en color azul representa la superficie de agua y en color verde a la vegetación. El título y las leyendas del gráfico de la derecha fueron generadas por defecto en inglés por el software SNAP y se refieren a Histograma de clases de clasificación de superficie (agua y vegetación). Fuente de datos imágenes Sentinel 1.

#### Datos

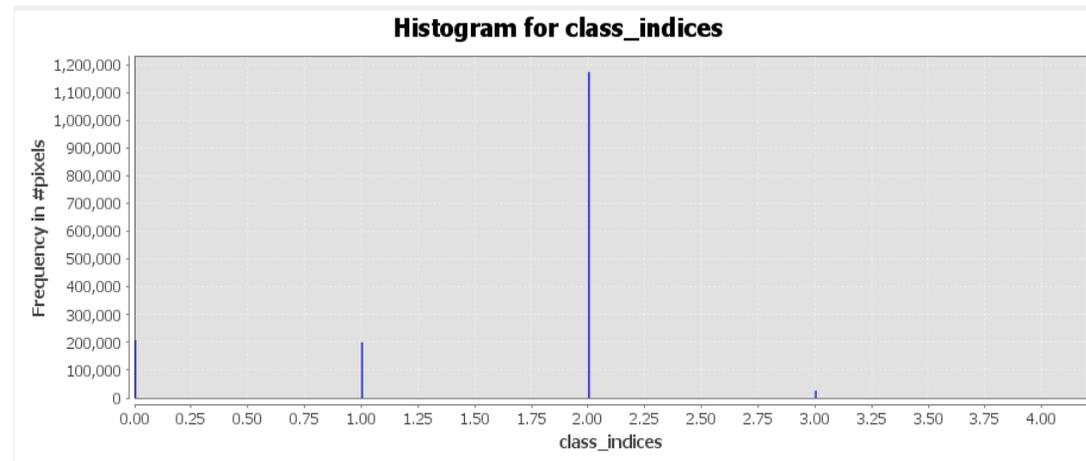
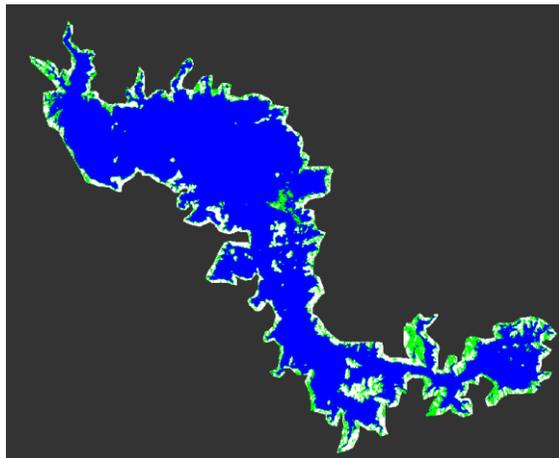
Fecha de análisis de imagen: **13 de febrero de 2022**

Cantidad de píxeles  $1082609 * 0.0001 = 108.26 \text{ Km}^2$  (superficie de agua)

Cantidad de píxeles  $265026 * 0.0001 = 26.50 \text{ Km}^2$  (ninja, vegetación)

### Figura 121.

Mapa de delimitación de superficie de agua época lluviosa, 2022, Embalse Cerrón Grande



*Nota:* Superficie en color azul representa la superficie de agua y en color verde a la vegetación. El título y las leyendas del gráfico de la derecha fueron generadas por defecto en inglés por el software SNAP y se refieren a Histograma de clases de clasificación de superficie (agua y vegetación). Fuente de datos imágenes Sentinel 1.

### Datos

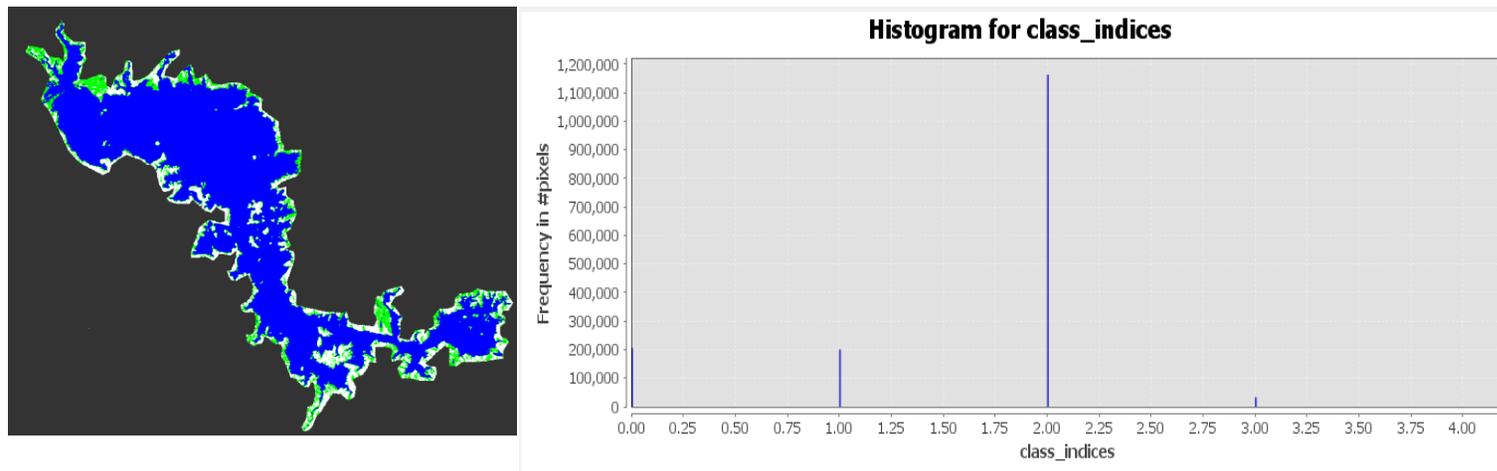
Fecha de análisis de imagen **04 de diciembre de 2022**

Cantidad de píxeles  $1173175 * 0.0001 = 117.31 \text{ Km}^2$  (superficie de agua)

Cantidad de píxeles  $200092 * 0.0001 = 20.01 \text{ Km}^2$  (ninja, vegetación)

**Figura 122.**

Mapa de delimitación de superficie de agua transición época lluviosa a seca, 2022, Embalse Cerrón Grande



*Nota:* Superficie en color azul representa la superficie de agua y en color verde a la vegetación. El título y las leyendas del gráfico de la derecha fueron generadas por defecto en inglés por el software SNAP y se refieren a Histograma de clases de clasificación de superficie (agua y vegetación). Fuente de datos imágenes Sentinel 1.

### Datos

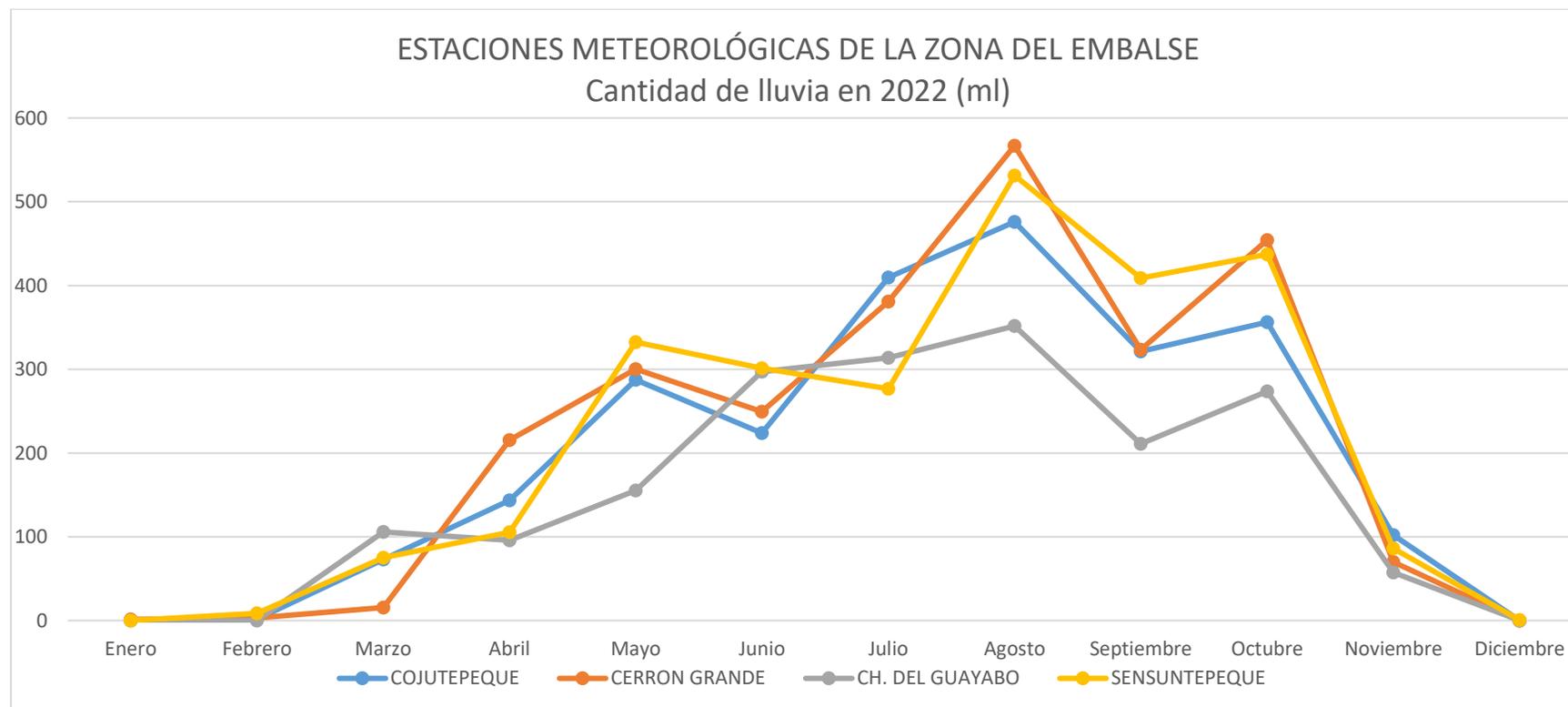
Fecha de análisis de imagen **15 de noviembre de 2022**

Cantidad de píxeles  $1163371 * 0.0001 = 116.33 \text{ Km}^2$  (superficie de agua)

Cantidad de píxeles  $200797 * 0.0001 = 20.08 \text{ Km}^2$  (ninja, vegetación)

**Figura 123.**

*Lluvia acumulada. Por cada estación meteorológica de la Zona del Embalse Cerrón Grande, 2022*



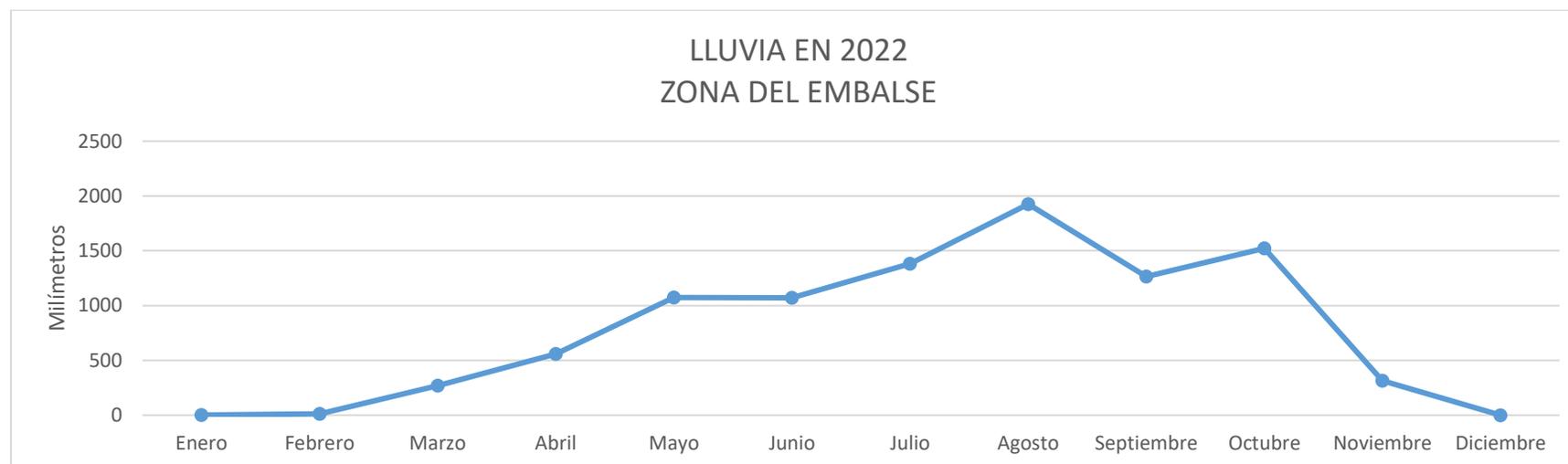
**Tabla 19.**

*Lluvia acumulada en zona Embalse Cerrón Grande. 2022*

Estación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Lluvia por mes (mm)	1.6	13.3	269.2	559.7	1075	1071.5	1380.7	1925.9	1264.4	1521.1	314.9	0.5

**Figura 124.**

*Lluvia acumulada de todas las estaciones de la Zona del Embalse Cerrón Grande, 2022*



En el año 2022 la temporada de lluvias inició en abril y finalizó en noviembre; en este año las estaciones cercanas al embalse registraron un total de 15,382.3 mm durante toda la época lluviosa, a pesar de no haber iniciado con mucha lluvia ya que los meses de mayo y junio presentaron una reducción en la precipitación respecto a otros años; respecto a los periodos secos se tuvo hasta un máximo de 15 días sin lluvia en diferentes localidades; pero a partir de agosto hubo una recuperación haciendo que este año no tuviera tanta afectación por sequía meteorológica.

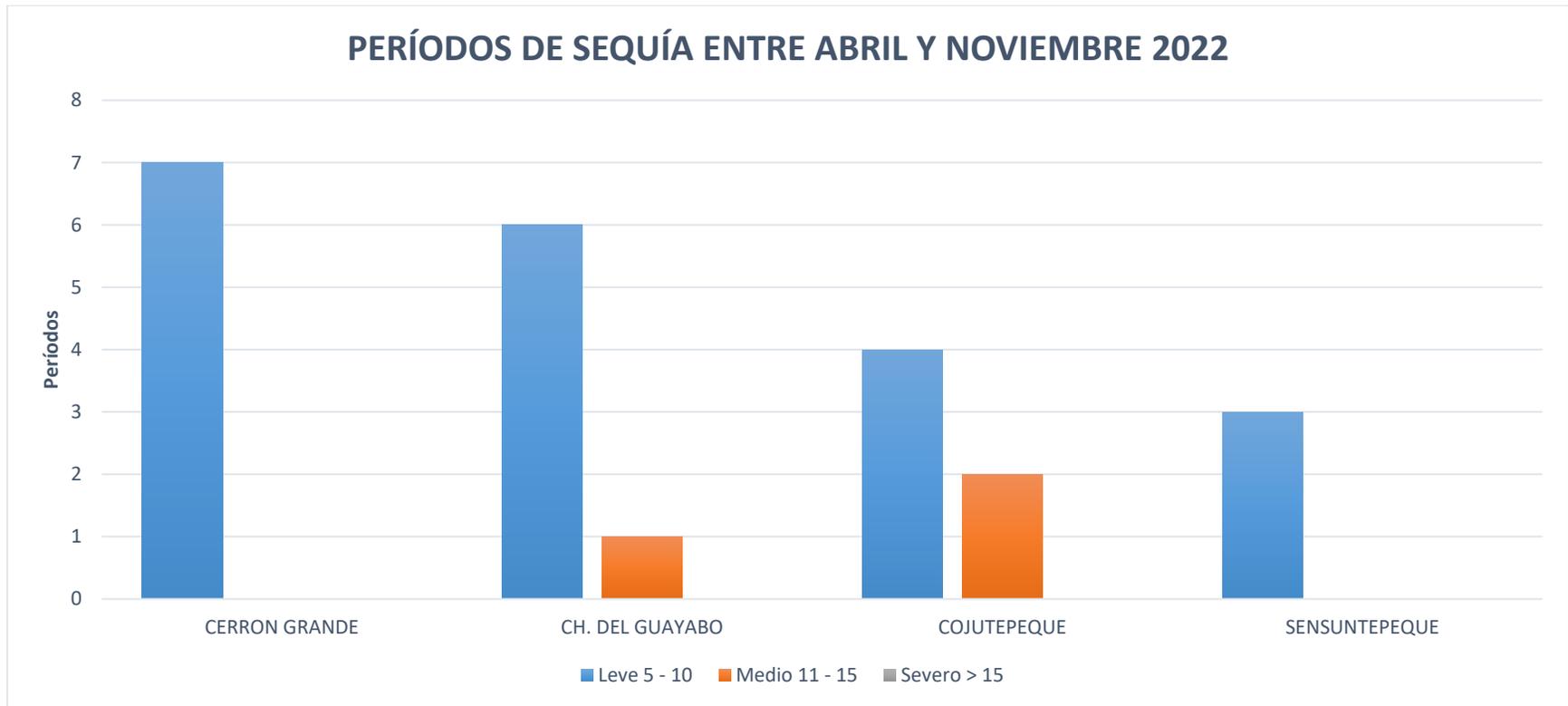
**Tabla 20.**

*Periodos de sequía entre abril y octubre 2022 por estación meteorológica*

Períodos	Cerrón Grande	Ch. del Guayabo	Cojutepeque	Sensuntepeque	Total
Leve 5 - 10	2	3	3	3	11
Medio 11 - 15	1	1	0	0	2
Severo > 15	0	0	0	0	0

**Figura 125.**

*Periodos secos en la zona del Embalse Cerrón Grande, 2022*



## 4.2 Análisis de variación de superficie de agua multianual

Tabla 21.

Resumen de resultados Laguna de Aramuaca

Año 2018							
Lluvia acumulada (mm)	Máxima Lluvia acumulada (mm)	Periodo de análisis	Área Agua (km <sup>2</sup> )	Área Vegetación (km <sup>2</sup> )	Área Total	% Vegetación	Variación de superficie (Km <sup>2</sup> )
		Pre época lluviosa	0.37	0.004	0.374	1%	
		Época lluviosa	0.38	0.07	0.45	16%	0.076
6,679.20	1,953.80	Post época lluviosa	0.37	0.05	0.42	12%	-0.03
Año 2019							
Lluvia acumulada (mm)	Máxima Lluvia acumulada (mm)	Periodo de análisis	Área Agua (km <sup>2</sup> )	Área Vegetación (km <sup>2</sup> )	Área Total	% Vegetación	Variación de superficie (Km <sup>2</sup> )
		Pre época lluviosa	0.27	0.09	0.36	25%	-0.06
		Época lluviosa	0.29	0.08	0.37	22%	0.01
10,716.30	2,795.20	Post época lluviosa	0.3	0.07	0.37	19%	0
Año 2020							
Lluvia acumulada (mm)	Máxima Lluvia acumulada (mm)	Periodo de análisis	Área Agua (km <sup>2</sup> )	Área Vegetación (km <sup>2</sup> )	Área Total	% Vegetación	Variación de superficie (Km <sup>2</sup> )
		Pre época lluviosa	0.27	0.1	0.37	27%	0
		Época lluviosa	0.32	0.01	0.33	3%	-0.04
19,702.00	3,708.30	Post época lluviosa	0.32	0.01	0.33	3%	0

<b>Año 2021</b>							
<b>Lluvia acumulada (mm)</b>	<b>Máxima Lluvia acumulada (mm)</b>	<b>Periodo de análisis</b>	<b>Área Agua (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área Vegetación (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área Total</b>	<b>% Vegetación</b>	<b>Variación de superficie (Km<sup>2</sup>)</b>
13,691.50	3,360.80	Pre época lluviosa	0.39	0.03	0.42	7%	0.09
		Época lluviosa	0.38	0.06	0.44	14%	0.02
		Post época lluviosa	0.38	0.06	0.44	14%	0
<b>Año 2022</b>							
<b>Lluvia acumulada (mm)</b>	<b>Máxima Lluvia acumulada (mm)</b>	<b>Periodo de análisis</b>	<b>Área Agua (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área Vegetación (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área Total</b>	<b>% Vegetación</b>	<b>Variación de superficie (Km<sup>2</sup>)</b>
15,382.30	3,071.90	Pre época lluviosa	0.38	0.06	0.44	14%	0
		Época lluviosa	0.39	0.07	0.46	15%	0.02
		Post época lluviosa	0.37	0.06	0.43	14%	-0.03

De acuerdo a los resultados la Laguna de Aramuaca la superficie de agua tuvo poca variación y esta osciló en reducción de superficie entre 0.03 y 0.06 Km<sup>2</sup>, datos que se obtuvieron por lo general en el periodo posterior a la época lluviosa; por el contrario tuvo incrementos 0.09 Km<sup>2</sup>; otro dato importante fue que en este cuerpo de agua no se tuvo mucha afectación por afloramiento de vegetación ya que el porcentaje de superficie cubierta por vegetación osciló entre el 7 y 27% lo cual es bajo en consideración de los otros tres cuerpos de agua analizados; cabe mencionar que este fue el cuerpo de agua de menor dimensión.

**Tabla 22.***Resumen de resultados Laguna de Olomega*

		<b>Año 2018</b>					
<b>Lluvia acumulada (mm)</b>	<b>Máxima Lluvia acumulada (mm)</b>	<b>Periodo de análisis</b>	<b>Área Agua (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área Vegetación (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área Total</b>	<b>% Vegetación</b>	<b>Variación de superficie (Km<sup>2</sup>)</b>
		Pre época lluviosa	20.96	1.47	22.43	7%	
		Época lluviosa	23.3	1.73	25.03	7%	2.6
6,679.20	1,953.80	Post época lluviosa	21.13	2.32	23.45	10%	-1.58
		<b>Año 2019</b>					
<b>Lluvia acumulada (mm)</b>	<b>Máxima Lluvia acumulada (mm)</b>	<b>Periodo de análisis</b>	<b>Área Agua (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área Vegetación (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área Total</b>	<b>% Vegetación</b>	<b>Variación de superficie (Km<sup>2</sup>)</b>
		Pre época lluviosa	19.02	1.8	20.82	9%	-2.63
		Época lluviosa	15.72	4.92	20.64	24%	-0.18
10,716.30	2,795.20	Post época lluviosa	17.51	2.12	19.63	11%	-1.01
		<b>Año 2020</b>					
<b>Lluvia acumulada (mm)</b>	<b>Máxima Lluvia acumulada (mm)</b>	<b>Periodo de análisis</b>	<b>Área Agua (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área Vegetación (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área Total</b>	<b>% Vegetación</b>	<b>Variación de superficie (Km<sup>2</sup>)</b>
		Pre época lluviosa	17.47	3.59	21.06	17%	1.43
19,702.00	3,708.30	Época lluviosa	12.84	2.4	15.24	16%	-5.82

		Post época lluviosa	18.98	4.04	23.02	18%	7.78
<b>Año 2021</b>							
Lluvia acumulada (mm)	Máxima Lluvia acumulada (mm)	Periodo de análisis	Área Agua (km <sup>2</sup> )	Área Vegetación (km <sup>2</sup> )	Área Total	% Vegetación	Variación de superficie (Km <sup>2</sup> )
		Pre época lluviosa	23.69	2.28	25.97	9%	2.95
		Época lluviosa	22.67	2.1	24.77	8%	-1.2
13,691.50	3,360.80	Post época lluviosa	19.69	3.12	22.81	14%	-1.96
<b>Año 2022</b>							
Lluvia acumulada (mm)	Máxima Lluvia acumulada (mm)	Periodo de análisis	Área Agua (km <sup>2</sup> )	Área Vegetación (km <sup>2</sup> )	Área Total	% Vegetación	Variación de superficie (Km <sup>2</sup> )
		Pre época lluviosa	21.66	1.75	23.41	7%	0.6
		Época lluviosa	17.77	2.85	20.62	14%	-2.79
15,382.30	3,071.90	Post época lluviosa	14.29	6.48	20.77	31%	0.15

Según los resultados obtenidos en la Laguna de Olomega los incrementos en la superficie se tuvieron hasta un máximo de 7.78 Km<sup>2</sup> en 2020; pero también en ese mismo año previo a la época lluviosa se tuvo un decremento en el área de 5.82 Km; las demás variaciones oscilaron entre 1 a 2 Km<sup>2</sup>. El porcentaje de superficie de vegetación alcanzó un máximo de 31% en el año 2022; esta afectación ocurrió por lo general en la transición de época lluviosa a época seca.

**Tabla 23.***Resumen de resultados Laguna El Jocotal*

<b>Año 2018</b>							
<b>Lluvia acumulada (mm)</b>	<b>Máxima Lluvia acumulada (mm)</b>	<b>Periodo de análisis</b>	<b>Área Agua (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área Vegetación (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área Total</b>	<b>% Vegetación</b>	<b>Variación de superficie (Km<sup>2</sup>)</b>
6,679.20	1,953.80	Pre época lluviosa	2.17	0.49	2.66	18%	
		Época lluviosa	2.14	0.51	2.65	19%	-0.01
		Post época lluviosa	2.11	0.41	2.52	16%	-0.13
<b>Año 2019</b>							
<b>Lluvia acumulada (mm)</b>	<b>Máxima Lluvia acumulada (mm)</b>	<b>Periodo de análisis</b>	<b>Área Agua (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área Vegetación (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área Total</b>	<b>% Vegetación</b>	<b>Variación de superficie (Km<sup>2</sup>)</b>
10,716.30	2,795.20	Pre época lluviosa	1.91	0.20	2.11	9%	-0.41
		Época lluviosa	1.64	0.69	2.33	30%	0.22
		Post época lluviosa	0.97	0.53	1.50	35%	-0.83
<b>Año 2020</b>							
<b>Lluvia acumulada (mm)</b>	<b>Máxima Lluvia acumulada (mm)</b>	<b>Periodo de análisis</b>	<b>Área Agua (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área Vegetación (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área Total</b>	<b>% Vegetación</b>	<b>Variación de superficie (Km<sup>2</sup>)</b>
19,702.00	3,708.30	Pre época lluviosa	0.92	0.52	1.44	36%	-0.06
		Época lluviosa	2.57	0.41	2.98	14%	1.54
		Post época lluviosa	1.58	1.24	2.82	44%	-0.16

		<b>Año 2021</b>					
<b>Lluvia acumulada (mm)</b>	<b>Máxima Lluvia acumulada (mm)</b>	<b>Periodo de análisis</b>	<b>Área Agua (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área Vegetación (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área Total</b>	<b>% Vegetación</b>	<b>Variación de superficie (Km<sup>2</sup>)</b>
13,691.50	3,360.80	Pre época lluviosa	2.73	0.29	3.02	10%	0.2
		Época lluviosa	2.32	0.45	2.77	16%	0.25
		Post época lluviosa	2.66	0.29	2.95	10%	-0.18
		<b>Año 2022</b>					
<b>Lluvia acumulada (mm)</b>	<b>Máxima Lluvia acumulada (mm)</b>	<b>Periodo de análisis</b>	<b>Área Agua (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área Vegetación (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área Total</b>	<b>% Vegetación</b>	<b>Variación de superficie (Km<sup>2</sup>)</b>
15,382.30	3,071.90	Pre época lluviosa	2.36	0.51	2.87	18%	-0.08
		Época lluviosa	2.81	0.27	3.08	9%	0.21
		Post época lluviosa	2.49	0.57	3.06	19%	-0.02

La laguna El Jocotal presentó la peculiaridad que tuvo un alto porcentaje de afectación por afloramiento de vegetación la cual alcanzó en el año 2020 un máximo de 44% equivalente a 1.24 Km<sup>2</sup> de 2.82 Km<sup>2</sup> del área total; sin embargo, las variaciones en superficie la mayoría estuvo por debajo de 1 Km<sup>2</sup> tanto en los incrementos como los decrementos.

**Tabla 24.***Resumen de resultados Embalse Cerrón Grande*

<b>Año 2018</b>							
<b>Lluvia acumulada (mm)</b>	<b>Máxima Lluvia acumulada (mm)</b>	<b>Periodo de análisis</b>	<b>Área Agua (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área Vegetación (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área Total</b>	<b>% Vegetación</b>	<b>Variación de superficie (Km<sup>2</sup>)</b>
7,925.60	1,678.20	Pre época lluviosa	106.62	23.36	129.98	18%	
		Época lluviosa	97.45	23.03	120.48	19%	-9.5
		Post época lluviosa	99.49	24.74	124.23	20%	3.75
<b>Año 2019</b>							
<b>Lluvia acumulada (mm)</b>	<b>Máxima Lluvia acumulada (mm)</b>	<b>Periodo de análisis</b>	<b>Área Agua (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área Vegetación (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área Total</b>	<b>% Vegetación</b>	<b>Variación de superficie (Km<sup>2</sup>)</b>
7,391.20	1,667.40	Pre época lluviosa	91.76	25.81	117.57	22%	-6.66
		Época lluviosa	68.42	67.51	135.93	50%	18.36
		Post época lluviosa	59.4	50.51	109.91	46%	-26.02
<b>Año 2020</b>							
<b>Lluvia acumulada (mm)</b>	<b>Máxima Lluvia acumulada (mm)</b>	<b>Periodo de análisis</b>	<b>Área Agua (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área Vegetación (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área Total</b>	<b>% Vegetación</b>	<b>Variación de superficie (Km<sup>2</sup>)</b>
7,404.70	1,227.60	Pre época lluviosa	87.87	12.11	99.98	12%	-9.93
		Época lluviosa	74.49	35.5	109.99	32%	10.01
		Post época lluviosa	102.51	24.46	126.97	19%	16.98

<b>Año 2021</b>							
<b>Lluvia acumulada (mm)</b>	<b>Máxima Lluvia acumulada (mm)</b>	<b>Periodo de análisis</b>	<b>Área Agua (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área Vegetación (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área Total</b>	<b>% Vegetación</b>	<b>Variación de superficie (Km<sup>2</sup>)</b>
7,196.70	1,720.30	Pre época lluviosa	105.97	24.46	130.43	19%	3.46
		Época lluviosa	118.87	14.11	132.98	11%	2.55
		Post época lluviosa	122.01	18.01	140.02	13%	7.04
<b>Año 2022</b>							
<b>Lluvia acumulada (mm)</b>	<b>Máxima Lluvia acumulada (mm)</b>	<b>Periodo de análisis</b>	<b>Área Agua (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área Vegetación (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área Total</b>	<b>% Vegetación</b>	<b>Variación de superficie (Km<sup>2</sup>)</b>
7,397.80	1,928.90	Pre época lluviosa	108.26	26.5	134.76	20%	-5.26
		Época lluviosa	117.31	20.01	137.32	15%	2.56
		Post época lluviosa	116.33	20.08	136.41	15%	-0.91

El embalse Cerrón Grande fue el cuerpo de agua de mayor dimensión de los cuatro del estudio; además fue el que mayor afectación de afloramiento de vegetación tuvo con porcentajes de hasta el 50% y 46% equivalentes a 67.51 Km<sup>2</sup> y 50.51 Km<sup>2</sup> fenómeno que ocurrió durante la transición de época lluviosa a seca en 2019; en este cuerpo de agua también las mayores variaciones de superficie las cuales fueron: un incremento de 18.36 Km<sup>2</sup> durante la época lluviosa del año 2019; sin embargo en ese mismo año finalizando se tuvo el mayor decremento el cual fue de 26.02 Km<sup>2</sup>.

### 4.3 Delimitación de zonas de inundación.

Para realizar este análisis de imágenes se utilizó Code Earthengine el cual está en lenguaje de programación Java script, la zona geográfica donde se aplicó el análisis fue el área urbana de la ciudad de San Miguel, EL Salvador.

Se inició, con el mes de septiembre de 2017, hasta los fenómenos: Tormenta Amanda (31 de mayo de 2020), Tormenta Julia (7 al 12 de octubre de 2022).

Como fuente de datos se tomó en cuenta los meses que corresponden a periodos lluviosos y fenómenos naturales referentes a tormentas o huracanes que tuvieron incidencia a nivel nacional publicados por el SNET institución adscrita al Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales en su sitio:

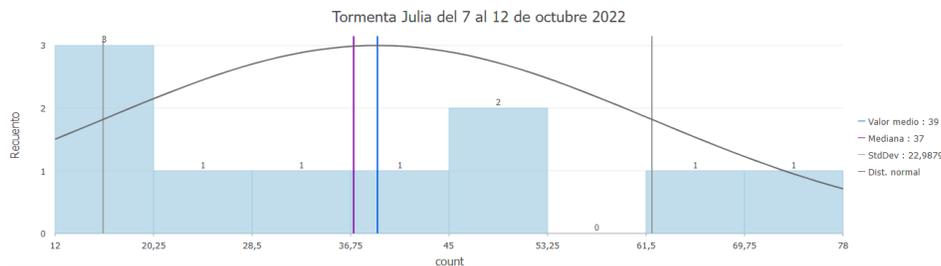
<https://mapas.snet.gob.sv/hidrologia/select.php?dpt=12>.

#### 4.3.1 Datos estadísticos de los fenómenos de lluvia Ciudad de San Miguel.

##### Tormenta Julia 12 octubre de 2022.

**Figura 126.**

*Datos estadísticos de fenómeno Tormenta Julia*



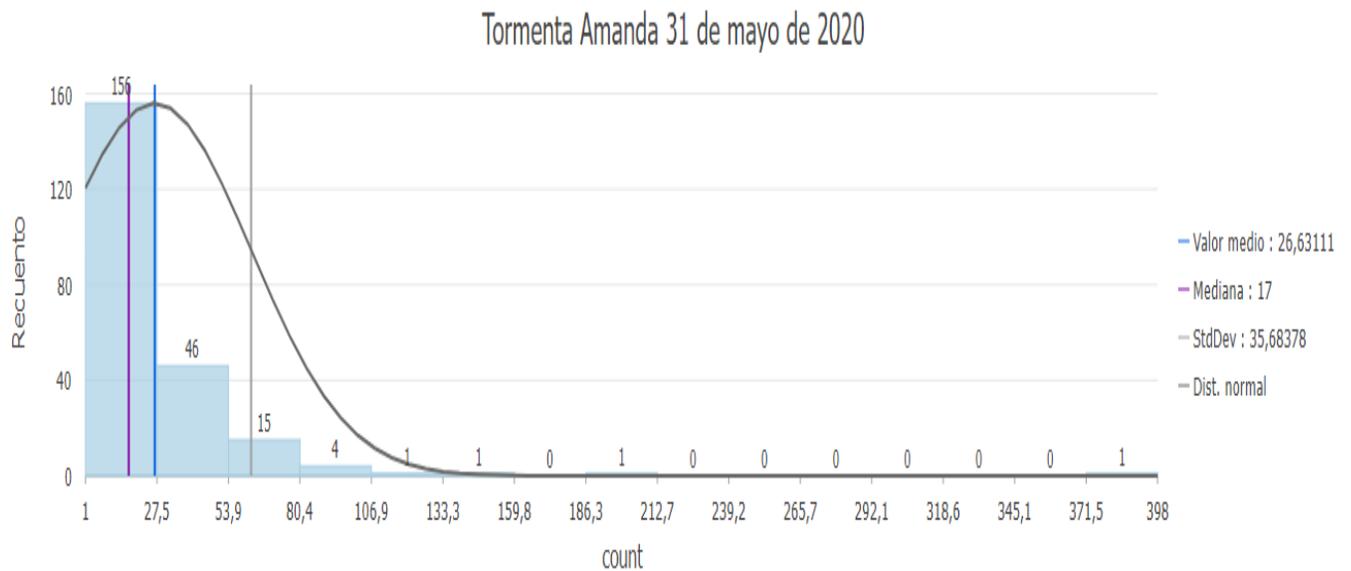
Estadísticas	
<input checked="" type="checkbox"/> Valor medio	39
<input checked="" type="checkbox"/> Mediana	37
<input checked="" type="checkbox"/> Desv. est.	22,98792
Filas	10
Calcular	10
Nulos	0
Mín.	12
Máx.	78
Suma	390
Skewness	0,391
Kurtosis	1,92

*Nota:* Los datos fueron calculados con base a la cantidad de milímetros de precipitación. Fuente de datos imágenes en la nube de Google.

##### Tormenta Amanda 31 de mayo de 2020.

**Figura 127.**

*Datos estadísticos de fenómeno Tormenta Amanda*



#### Estadísticas

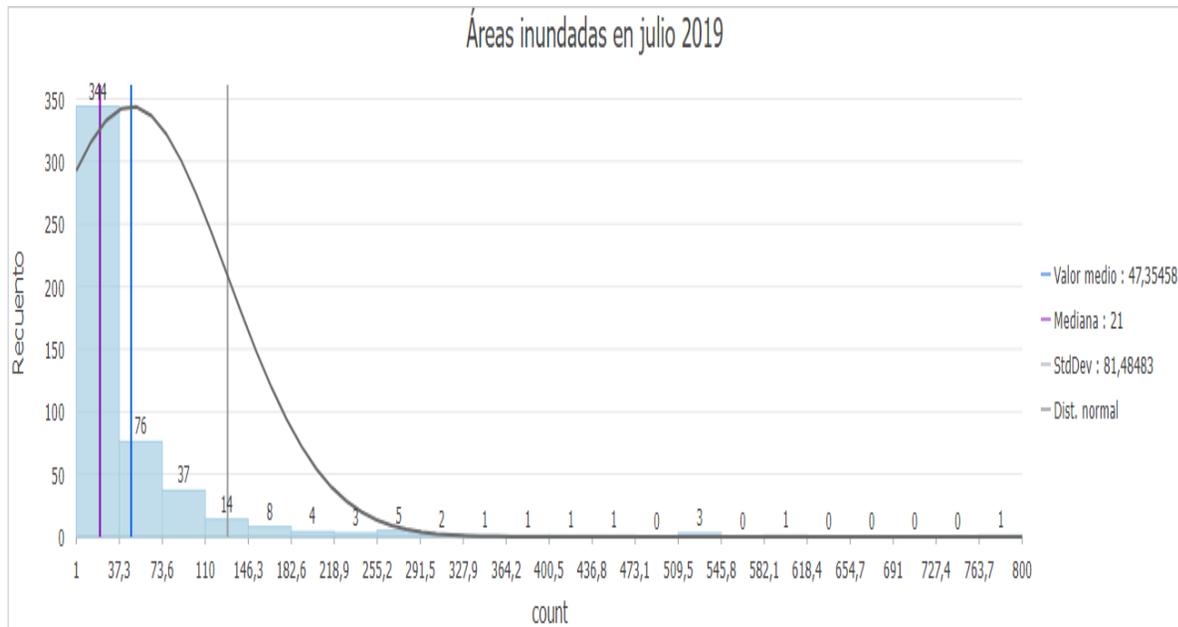
	Dataset
<input checked="" type="checkbox"/> Valor medio	26.631111
<input checked="" type="checkbox"/> Mediana	17
<input checked="" type="checkbox"/> Desv. est.	35.683778
Filas	225
Calcular	225
Nulos	0
Mín.	1
Máx.	398
Suma	5,992
Skewness	6.0909497
Kurtosis	57.087916

*Nota:* Los datos fueron calculados con base a la cantidad de milímetros de precipitación.  
Fuente de datos imágenes en la nube de Google.

## Áreas inundadas en julio 2019

**Figura 128.**

*Datos estadísticos de fenómeno de lluvias en julio 2019*



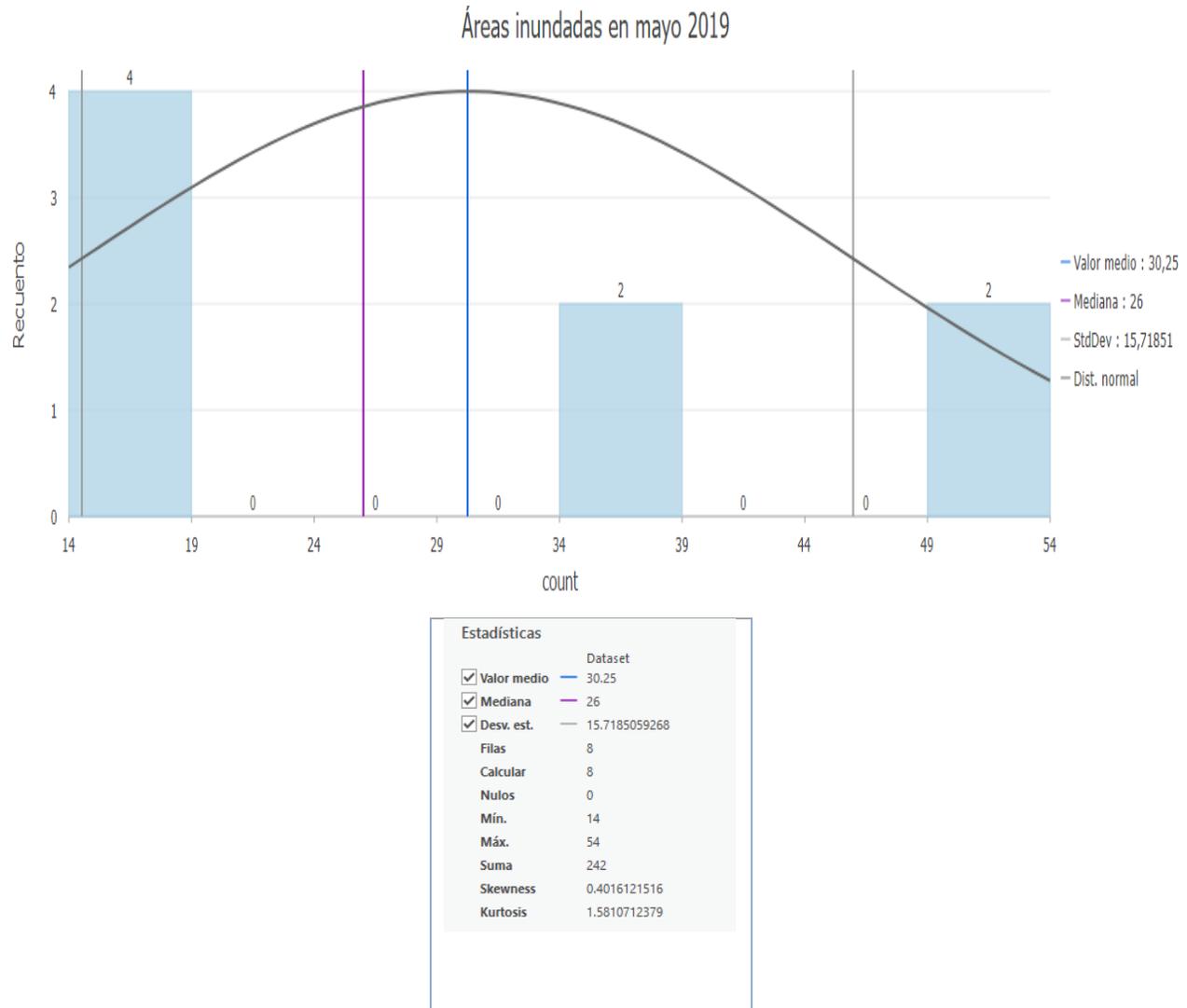
Estadísticas	
	Dataset
<input checked="" type="checkbox"/> Valor medio	47.3545816733
<input checked="" type="checkbox"/> Mediana	21
<input checked="" type="checkbox"/> Desv. est.	81.4848342485
Filas	502
Calcular	502
Nulos	0
Mín.	1
Máx.	800
Suma	23,772
Skewness	4.6811358667
Kurtosis	31.1688813283

*Nota:* Los datos fueron calculados con base a la cantidad de milímetros de precipitación.  
Fuente de datos imágenes en la nube de Google.

## Áreas inundadas en mayo 2019

Figura 129.

Datos estadísticos de fenómeno de lluvia en mayo 2019

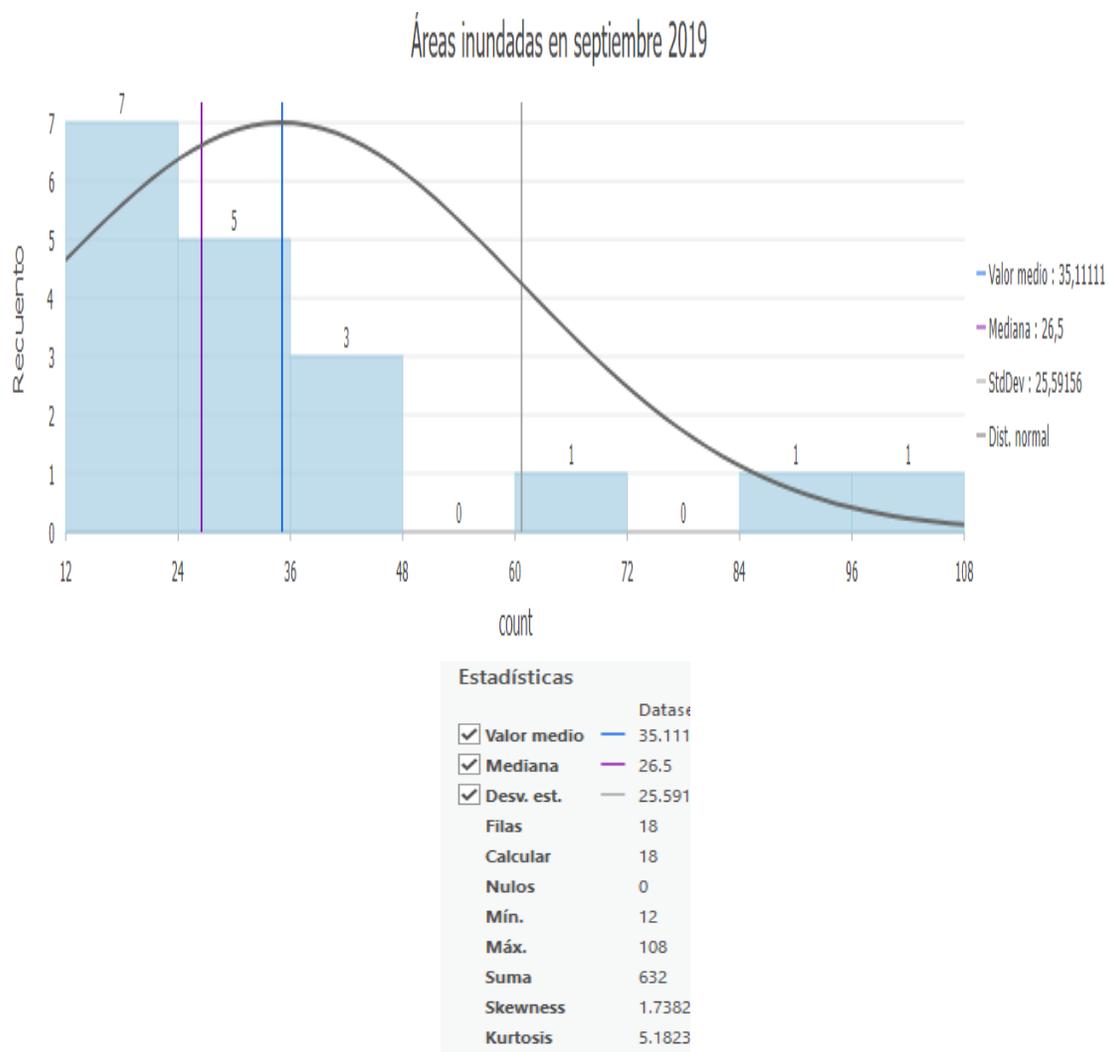


*Nota:* Los datos fueron calculados con base a la cantidad de milímetros de precipitación.  
Fuente de datos imágenes en la nube de Google.

## Áreas inundadas en septiembre 2019

Figura 130.

Datos estadísticos de fenómeno en septiembre 2019

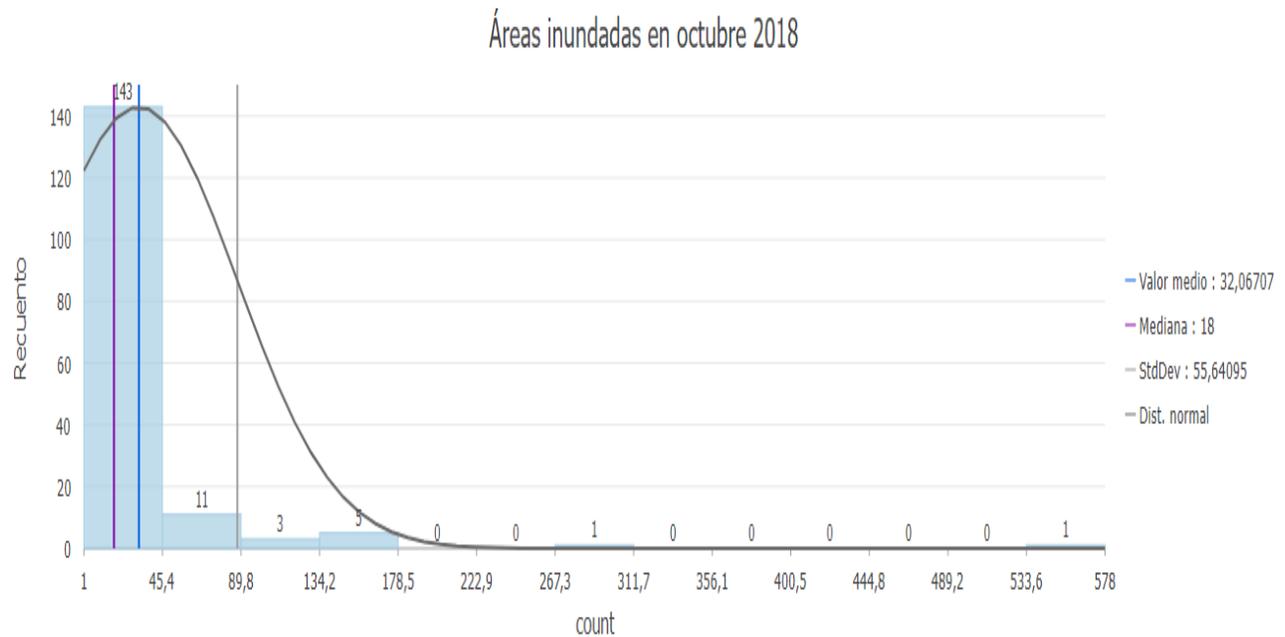


*Nota:* Los datos fueron calculados con base a la cantidad de milímetros de precipitación.  
Fuente de datos imágenes en la nube de Google.

## Áreas inundadas en octubre 2018

**Figura 131.**

*Datos estadísticos de fenómeno de lluvias en octubre 2018.*



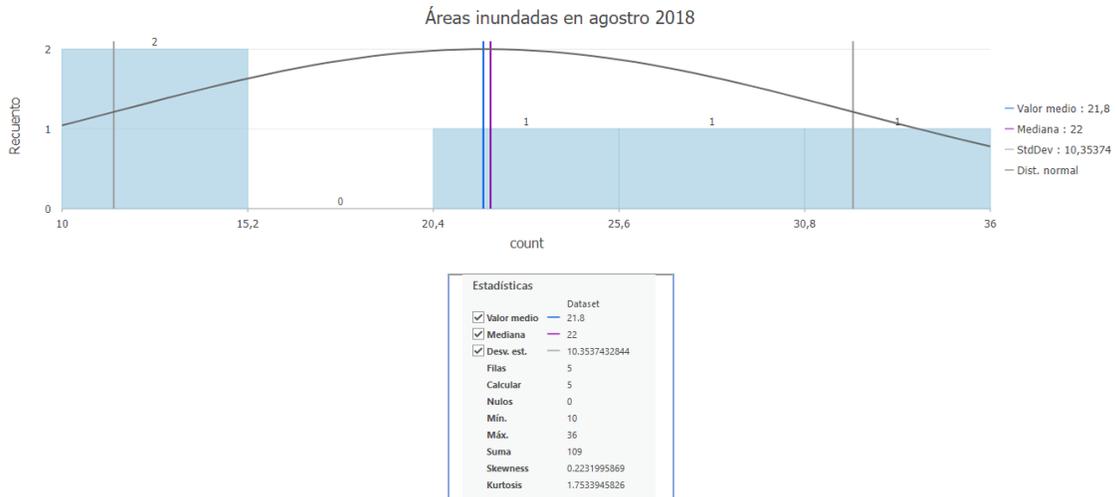
Estadísticas	
<input checked="" type="checkbox"/> Valor medio	Dataset: 32.0670731707
<input checked="" type="checkbox"/> Mediana	18
<input checked="" type="checkbox"/> Desv. est.	55.6409536132
Filas	164
Calcular	164
Nulos	0
Mín.	1
Máx.	578
Suma	5,259
Skewness	6.6896010152
Kurtosis	60.3190823913

*Nota:* Los datos fueron calculados con base a la cantidad de milímetros de precipitación.  
Fuente de datos imágenes en la nube de Google.

## Áreas inundadas en agosto 2018

**Figura 132.**

*Datos estadísticos de fenómeno de lluvias en agosto 2018*

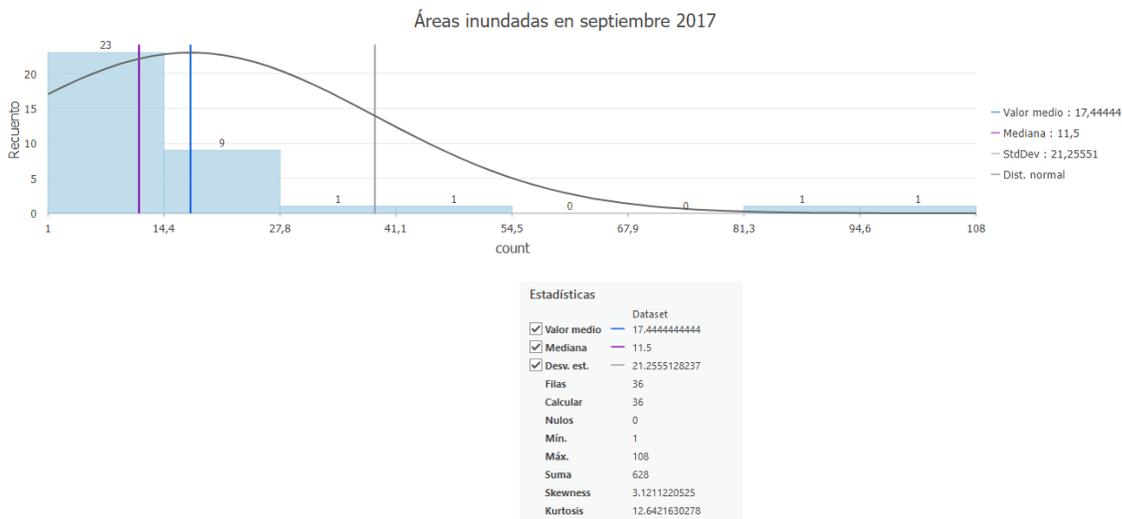


*Nota:* Los datos fueron calculados con base a la cantidad de milímetros de precipitación. Fuente de datos imágenes en la nube de Google.

## Áreas inundadas en septiembre 2017

**Figura 133.**

*Datos estadísticos de fenómeno de lluvias en septiembre 2017*



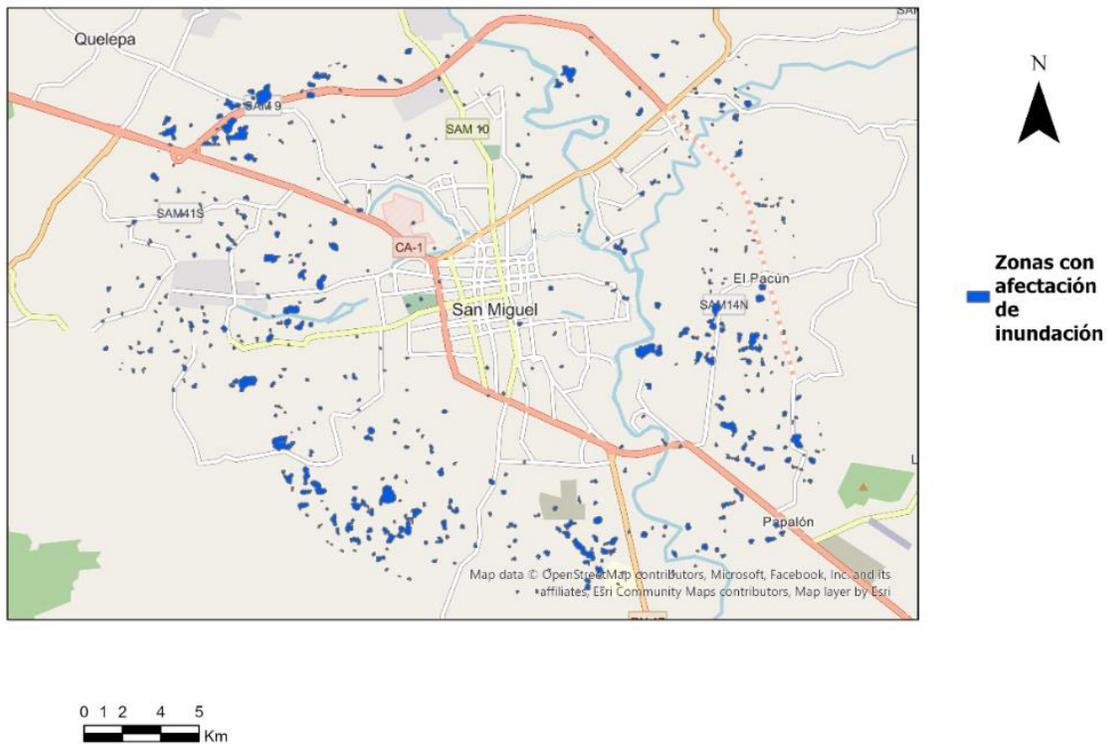
*Nota:* Los datos fueron calculados con base a la cantidad de milímetros de precipitación. Fuente de datos imágenes en la nube de Google.

### 4.3.2 Cartografía digital de zonas de inundación en San Miguel

**Figura 134.**

*Mapa de zonas de inundación fenómeno julio 2019*

## Zonas con inundación Evento de lluvia Julio-2019

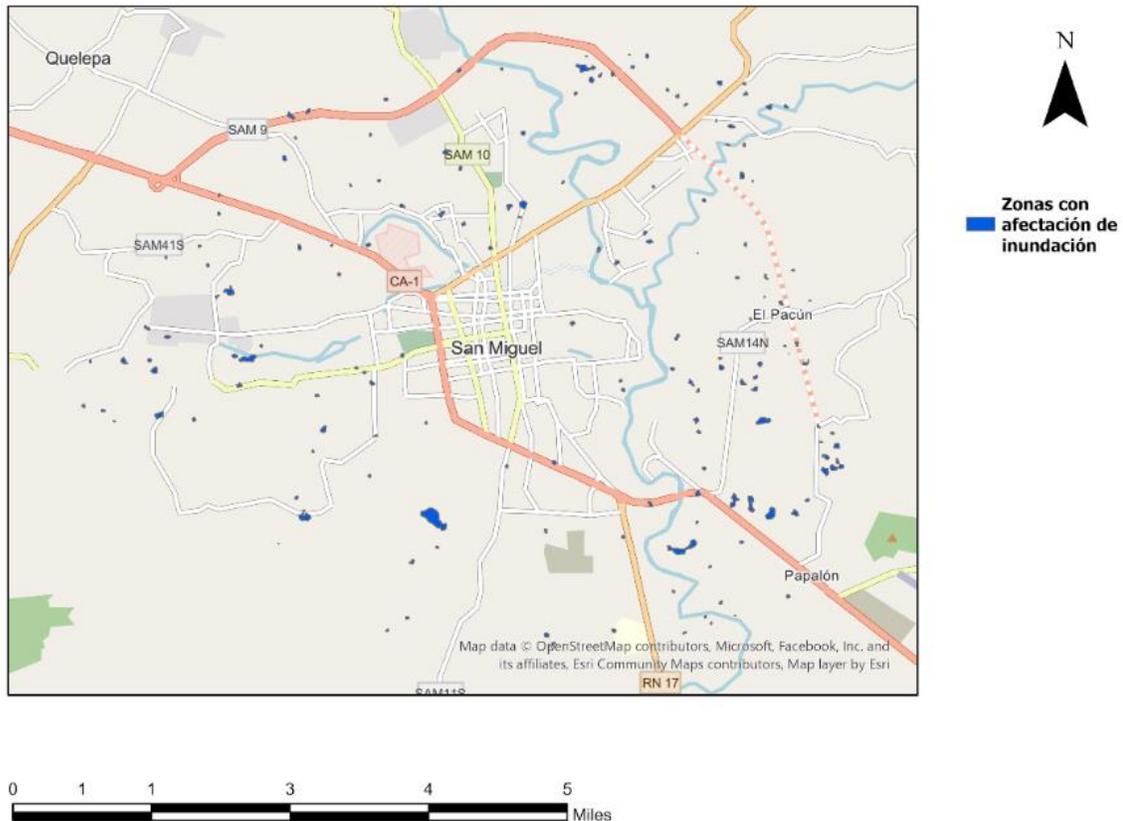


*Nota:* El mapa fue elaborado en software ArcGIS Pro. Fuente de datos obtenida de capas resultante de datos procesados en Google Earth Engine.

**Figura 135.**

*Mapa de zonas de inundación fenómeno de octubre 2018*

# Zonas con inundación Evento Lluvias Octubre 2018

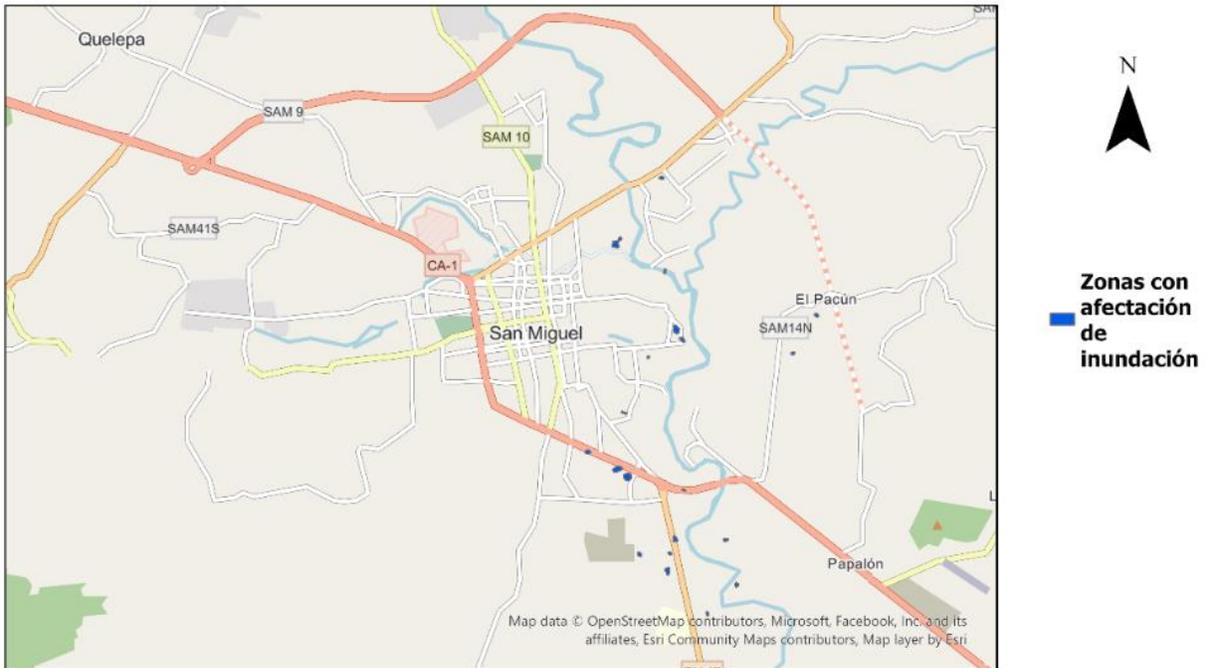


*Nota:* El mapa fue elaborado en software ArcGIS Pro. Fuente de datos obtenida de capas resultante de datos procesados en Google Earth Engine.

**Figura 136.**

*Mapa de zonas de inundación fenómeno de septiembre 2018*

## Zonas con inundación Evento de lluvia Septiembre 2018



*Nota:* El mapa fue elaborado en software ArcGIS Pro. Fuente de datos obtenida de capas resultante de datos procesados en Google Earth Engine.

**Figura 137.**

*Mapa de zonas de inundación fenómeno, septiembre 2017*

## Zonas con inundación Evento de lluvia Septiembre 2017



*Nota:* El mapa fue elaborado en software ArcGIS Pro. Fuente de datos obtenida de capas resultante de datos procesados en Google Earth Engine.

### **4.3.3. Mapa histórico de zonas de inundación de San Miguel.**

Como resultado también se obtuvo una aplicación web en la plataforma ArcGIS Online llamada Story Maps la cual muestra en orden cronológicos y de forma interactiva cartografía digital cuyo contenido son las diferentes zonas de inundación identificadas mediante el análisis en Google Earth Engine con base a registro de eventos de lluvia del MARN.

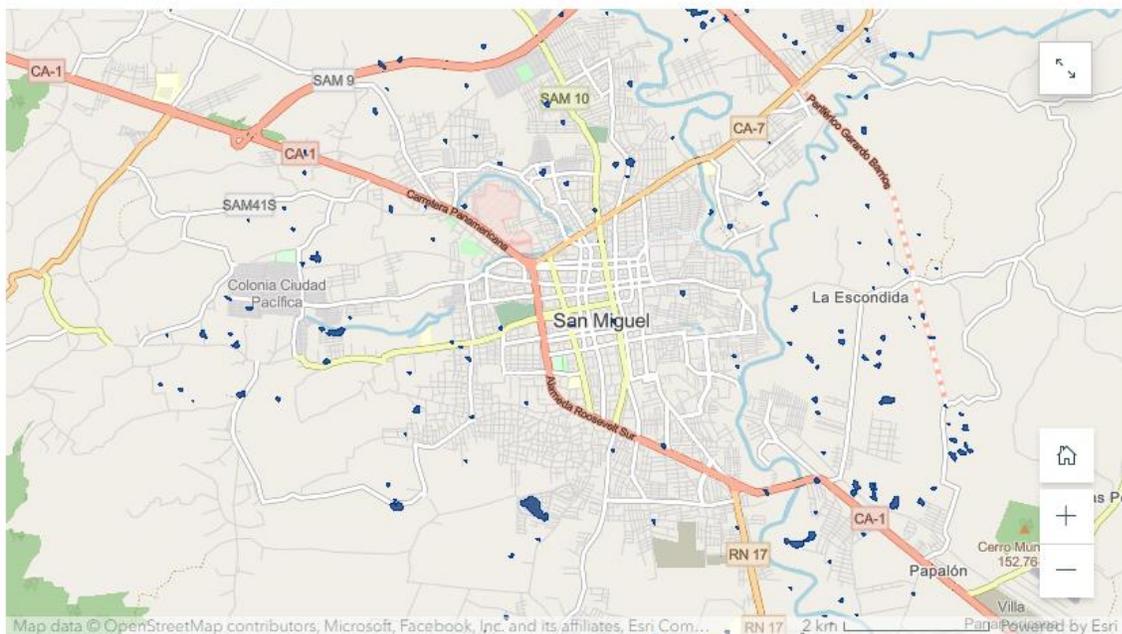
**Figura 138.**  
*Portada de mapa web*

# Zonas de inundación

San Miguel (Periodo 2017 - 2022)

Universidad Dr. Andrés Bello

**Figura 139.**  
*Detalle de mapa web con zonas de inundación.*



Mapa zonas de inundación San Miguel Octubre 2018

Para poder consultar los datos en el portal de ArcGIS Online se generó el siguiente hipervínculo <https://arcg.is/1neeX8>.

## 5. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en la presente investigación están enfocados en dos utilidades que ofrecen las imágenes de radar Sentinel 1 como son: la delimitación de cuerpos de agua y la identificación de zonas inundables; para ello se hizo uso de diferentes tipos de software; implementados en distinto ambiente; ya que se utilizaron herramientas de escritorio como SNAP propiedad de la Agencia Espacial Europea; así también plataformas en la nube como Google Earth Engine y ArcGIS Online e incluso software híbrido (escritorio-nube) como ArcGIS Pro, donde se diseñó toda la cartografía digital resultante, a continuación se presentan diferentes elementos relevantes para el desarrollo de la presente investigación.

### **Método de procesamiento de imagen y tipo de imagen**

En términos generales, para poder hacer la delimitación de una superficie se debe hacer uso ya sea de una imagen de satélite también conocida como óptica o una imagen de radar; siendo esta última la seleccionada en el presente estudio específicamente imágenes Sentinel 1; una razón de peso para la elección de esta imagen fue la resolución espacial la cual fue suficiente para poder analizar la cobertura de cuatro cuerpos de agua de El Salvador con diferentes proporciones desde el más pequeño Laguna de Aramuaca con aproximadamente 0.45 Km<sup>2</sup> hasta el Embalse Cerrón Grande con una extensión aproximada de 135 Km<sup>2</sup> de extensión; sin embargo lo anterior contrasta con el tipo de imagen utilizada en el estudio de Berdugo Muñoz y Reales López (2016) quienes se basan en el uso una imagen óptica como Landsat 8; la cual presenta como ventaja con respecto a la Sentinel 1 la mayor cantidad de bandas que posee, lo cual permite hacer una clasificación más detallada de superficie, razón por la cual estas imágenes son útiles para estudios relacionados con vegetación; pero también presenta la desventaja que si al momento de toma de imagen del satélite existe un alto porcentaje de nubosidad no se puede realizar el análisis de clasificación o delimitación de área; lo cual se solventa con una imagen de radar ya que la señal emitida por este tipo de sensores son capaces de pasar la nubosidad y obtener la señal de rebote de la superficie que

puede ser agua, vegetación o suelo independientemente del nivel de nubosidad existente.

Otra diferencia que deriva del tipo de imagen utilizada es el procesamiento que sufre dicha imagen; para el caso la imagen óptica como Landsat 8 el proceso es más rápido y se basa en el cálculo de un índice llamado diferencial de agua normalizado (NDWI, por sus iniciales en inglés), con el cual se puede delimitar fácilmente agua de suelo; y que fue utilizado por Berdugo Muñoz y Reales López (2016) ; en cambio para las imágenes Sentinel 1 consiste una secuencia de procesos que incluyen una corrección geométrica de la imagen para poder georreferenciarla, luego calibración, seguido por un filtrado para dar mayor definición a las áreas de la imagen y finaliza con el método de clasificación de imagen K-Means, para el caso se aplicó con cuatro categorías a fin de poder discriminar entre superficie cubierta por agua, vegetación, suelo y una de descarte para considerar cualquier otra superficie que se pudiera identificar en la zona; es importante mencionar que todo método de clasificación de imagen supervisada requiere que haya conocimiento previo de la zona, por ello realizó visita de campo a los cuerpos de agua contemplados en el estudio, en las cuales se hizo un levantamiento fotográfico aéreo utilizando un dron.

La delimitación de superficie de agua también está relacionada con datos de precipitación y periodos secos en la zona de estudio por ello; fue de suma importancia la confección de una base de datos meteorológicos específicamente con el registro de lluvia diaria; y considerando que el estudio fue retroactivo para un periodo de cinco años y que no se tuvieron pluviómetros instalados directamente en los cuerpos de agua contemplados en el estudio; se aplicó la técnica de *Web Scraping*, una herramienta de extracción de datos de un sitio de internet; esta técnica tiene múltiples aplicaciones, muestra de ello es que se ha utilizado en estudios realizados en diferentes disciplinas por ejemplo, en el área de economía en la investigación de Méndez Maldonado (2023) sirvió para hacer análisis de sitios que contienen bolsas de empleo a fin de obtener categorías de empleo más demandas en El Salvador; de igual forma Mijangos Espinosa, Martínez Rebollar, Estrada Esquivel, y Hernández Pérez (2022), hicieron uso de esta técnica en el área

de salud ya que la información obtenida de forma automática estaba relacionada con Covid-19 en México y en diferentes partes del mundo, respecto a índices como casos positivos, sospechosos, negativos y defunciones en México; la fuente de estos datos fueron cinco dominios diferentes y el volumen obtenido fue de hasta 35 Gigabytes; si bien es cierto estas disciplinas no están relacionadas con el presente estudio; pero si se tienen como factor común el algoritmo de extracción de datos el cual tiene la misma base respecto a la codificación en R y solo se aplicaron modificaciones tales como como el parámetro de búsqueda que es sitio fuente del cual extrae la información y la configuración de la base de datos resultante de forma automática; la fuente principal de información para el presente estudio fue el sitio web donde el MARN tiene alojada una base de datos con parámetros meteorológicos de dominio público, el cual esta descrito en la sección de métodos específicamente el apartado de datos.

La aplicación de la técnica antes descrita permitió obtener una base de datos con el registro de forma automática de precipitación diaria y periodos de días secos de cada una de las estaciones meteorológicas del país; datos que al procesarlos dieron como resultado cartografía digital con la cual se puede hacer una inferencia o determinar la incidencia de la cantidad de lluvia respecto a la reducción o aumento en la superficie de agua.

Otro de los resultados principales del estudio fue la identificación de zonas inundables específicamente en la zona metropolitana de la Ciudad de San Miguel, la cual se ha visto afectada por este fenómeno en muchas ocasiones debido al desbordamiento del Rio Grande el cual recorre buena parte del territorio de esa ciudad o por falta de drenaje o inadecuado en arterias viales principales por ejemplo la Alameda Roosevelt; el mecanismo para poder identificar dichas zonas fue analizar imágenes Sentinel 1; pero en esta ocasión mediante la ejecución de algoritmos en JavaScript en la plataforma en la nube llamada Google Earth Engine; estos algoritmos acceden a un servidor de imágenes Sentinel 1; lo cual permite procesar una copia de la imagen de forma automatizada en la nube, es decir no se requiere descargarla a la computadora; lo cual vuelve eficiente el proceso respecto

al tiempo de respuesta; ya que los resultados se obtuvieron entre uno a dos minutos máximo, lo cual si hace en software de escritorio demora hasta 15 minutos. Otra ventaja que ofrece esta herramienta es que se puede exportar el resultado en formato shape de ESRI; el cual es un estándar para poder crear cartografía digital en diferentes sistemas de información geográfica.

El procedimiento utilizado fue similar al utilizado en una práctica recomendada por ONU- Spider una institución referente a nivel mundial en el tema de mitigación de riesgos provocados por desastres naturales en su sitio <https://www.un-spider.org/es/advisory-support/recommended-practices/recommended-practice-google-earth-engine-flood-mapping/step-by-step> . (Naciones Unidas, s.f.); cabe mencionar que en esta página web también están documentadas experiencias sobre casos de uso de esta metodología en diferentes países; la única desventaja que presentó este mecanismo es que no se pueden detectar zonas de inundación para periodos menores a seis días; que es la resolución temporal de las imágenes Sentinel 1; es decir el intervalo tiempo de revisita del satélite.

## 6. CONCLUSIONES

- La aplicación de la técnica de *webscraping* permitió obtener de forma automatizada y eficiente una base de datos meteorológicos de todo el país para un periodo de cinco años (2018 – 2022).
- La combinación del método de interpolación KDW y del método de clasificación *K-means* permitió realizar un análisis temporal espacial entre la precipitación y la variación entre la superficie de agua de cuatro cuerpos de agua del país.
- La resolución espacial y temporal de las imágenes de radar Sentinel-1 ha permitido detectar y cuantificar las superficies de agua para los cuatro cuerpos de agua de diferente extensión contemplados en el estudio.
- La cobertura de superficie cubierta por vegetación por lo general ninfa o jacinto de agua; evidenció la reducción de la extensión de los cuatro cuerpos de agua estudiados durante el Fenómeno de El Niño Oscilación del Sur, según análisis de las imágenes satelitales; por el contrario, se encontró una recuperación de la superficie de los mismos cuerpos de agua durante el Fenómeno de La Niña .

## 7. REFERENCIAS

- Agua.org. (s.f.). Cuerpos de agua. <https://agua.org.mx/cuerpos-de-agua/>
- Berdugo Muñoz, A. G. , Reales López, G. J. (2016). Análisis multiespectral de imágenes satelitales para evaluar variaciones espacio - temporales en la calidad del agua del embalse El Guájaró, Atlántico. <https://repositorio.cuc.edu.co/bitstream/handle/11323/325/1.042.448.544-1.043.874.467.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Bosque González, I., Fernández Freire, C., Martín - Forero Morente, L. y Pérez Asencio, E. (2012). Los Sistemas de Información Geográfica y la Investigación en las Ciencias Humanas y Sociales. <https://digital.csic.es/bitstream/10261/64940/1/Los%20SIG%20y%20la%20Investigacion%20en%20Ciencias%20Humanas%20y%20Sociales.pdf>
- Castro, D. (2021). Introducción al Web Scraping. Medium. <https://davidcasr.medium.com/introducci%C3%B3n-al-web-scraping-386f571db083>
- Copernicus. (s.f.). Copernicus Sentinel-1. <https://www.copernicus.eu/es/sobre-copernicus/infraestructura/estos-son-nuestros-satelites>
- ESRI. (s.f.). Comparar métodos de interpolación. <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/comparing-interpolation-methods.htm>
- ESRI . (s.f.). Introducción a ArcGIS Pro. <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/get-started/get-started.htm>
- Fernández de Ullivarri, J. , Corbella, R. D. (s.f.). TELEDETECCIÓN Imágenes Satelitales y Fotografía aérea. <https://s9a0d11af78cd478d.jimcontent.com/download/version/1519671892/module/7956253376/name/Teledetecci%C3%B3n%20Xi.pdf>
- Google (s.f.). Análisis a nivel planetario en la nube de Google. Google Earth Engine. [https://www.google.com/intl/es\\_in/earth/education/tools/google-earth-engine/](https://www.google.com/intl/es_in/earth/education/tools/google-earth-engine/)
- Iberdrola México.(2020). ¿Qué es un sitio RAMSAR? <https://www.iberdrolamexico.com/te-interesa/que-es-un-sitio-ramsar/>
- KEEPCODING Tech School. (2022).¿Qué es el lenguaje R?. <https://keepcoding.io/blog/que-es-el-lenguaje-r/>
- Maqueda J. (s.f.). Laguna de Aramuaca (volcán). El Salvador. <https://www.subiendovolcanes.com/p/laguna-aramuaca-volcan-el-salvador.html>

- Méndez Maldonado, H. (2023). Análisis de la demanda laboral en El Salvador mediante Big Data [Monografía]. Universidad Dr. Andrés Bello.  
[https://www.unab.edu.sv/books/?wbg\\_title\\_s=&wbg\\_category\\_s=Ciencias+Econ%C3%B3micas&wbg\\_published\\_on\\_s=2023](https://www.unab.edu.sv/books/?wbg_title_s=&wbg_category_s=Ciencias+Econ%C3%B3micas&wbg_published_on_s=2023)
- Microsoft. (2023). Tareas básicas en Excel. <https://support.microsoft.com/es-es/office/tareas-b%C3%A1sicas-en-excel-dc775dd1-fa52-430f-9c3c-d998d1735fca#:~:text=Excel%20es%20una%20herramienta%20muy,la%20cuadr%C3%ADcula%20de%20las%20celdas.>
- Mijangos Espinosa, R. , Martínez Rebollar, A., Estrada Esquivel, H. y Hernández-Pérez, Y. (2022). Uso de técnicas de Web Scraping para obtención automática de bases de datos en la Web.  
[https://www.rcs.cic.ipn.mx/2022\\_151\\_5/Uso%20de%20tecnicas%20de%20Web%20Scraping%20para%20obtencion%20automatica%20de%20bases%20de%20datos%20en%20la%20Web.pdf](https://www.rcs.cic.ipn.mx/2022_151_5/Uso%20de%20tecnicas%20de%20Web%20Scraping%20para%20obtencion%20automatica%20de%20bases%20de%20datos%20en%20la%20Web.pdf)
- Mora Zamora, A. (2005). La investigación dirigida. [Archivo PDF].  
<https://www.cientec.or.cr/exploraciones/ponenciaspdf/ArabelaMora.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas. (s.f.). Paso a Paso: Mapeo Rápido de Inundaciones y sus Impactos Utilizando Datos SAR de Sentinel-1 y Google Earth Engine. <https://www.un-spider.org/es/advisory-support/recommended-practices/recommended-practice-google-earth-engine-flood-mapping/step-by-step>
- Ortega Pérez, E. y Martín Ramos, B. (2016). Sistemas de información geográfica. Teoría y práctica. Dextar Editorial. <https://www.perlego.com/es/book/2051352/sistemas-de-informacin-geografica-teora-y-prctica-pdf>
- Rodríguez Pérez, D. Domínguez Gómez, J. A. y Sánchez Carnero, N. (2015). Cuestiones de teledetección. UNED - Universidad Nacional de Educación a Distancia.  
[https://books.google.com.sv/books?id=tXxCgAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.sv/books?id=tXxCgAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)
- Servicio de Información sobre Sitios Ramsar. (2021). Área Natural Protegida Laguna del Jocotal. <https://rsis.ramsar.org/es/ris/970?language=es>
- Servicio de Información sobre Sitios Ramsar. (2021). Embalse Cerrón Grande.  
<https://rsis.ramsar.org/es/ris/1592?language=es>
- Servicio de Información sobre Sitios Ramsar. (2021). Laguna de Olomega.  
<https://rsis.ramsar.org/es/ris/1899?language=es>

Unioviedo. (s.f.). El algoritmo k-means aplicado a clasificación y procesamiento de imágenes.  
[https://www.unioviedo.es/compnum/laboratorios\\_py/kmeans/kmeans.html#:~:text=K%2Dmeans%20es%20un%20algoritmo,suele%20usar%20la%20distancia%20cuadr%C3%A1tica](https://www.unioviedo.es/compnum/laboratorios_py/kmeans/kmeans.html#:~:text=K%2Dmeans%20es%20un%20algoritmo,suele%20usar%20la%20distancia%20cuadr%C3%A1tica).

Universidad de Valencia. (2018) Tutorial. Descarga y procesado de imágenes Sentinel con SNAP. [https://www.copernicus-user-uptake.eu/fileadmin/FPCUP/dateien/resources/2018-2-23/Tutorial\\_Copernicus\\_2020\\_Oporto\\_03.pdf](https://www.copernicus-user-uptake.eu/fileadmin/FPCUP/dateien/resources/2018-2-23/Tutorial_Copernicus_2020_Oporto_03.pdf)

Zarza F. L. (s.f.). ¿Qué es una inundación? <https://www.iagua.es/respuestas/que-es-inundacion>

## 8. ANEXOS

Anexo 1. Ejemplo de tabla de datos consultada en portal de MARN

Reporte de datos diarios

Fecha: 01/12/2022

Show 25 entries Search:

Indice ▲	Estación ◆	Lluvia ◆	Tmáxima día anterior ◆	Tmínima día actual ◆	HumedadRelativa ◆	GeoTerm14 ◆	GeoTerm21 ◆	GeoTerm07 ◆
A15	GUIJA	0.0	32.6	20.8	83			
A18	FINCA LOS ANDES	0.0	21.4	13.0	88			
A27	C. DE LA FRONTERA	0.0	30.4	21.0	74			
A31	PLANES DE MONTECRISTO	0.0	21.6	13.6	84			

## Anexo 2. Ejemplo de código en R

```
title: "Lluvias MARN"
author: "Samuel A. Cano"
date: '2023-06-12'
output: pdf_document
---
````{r setup, include=FALSE}
knitr::opts_chunk$set(echo = TRUE)
````

## R Markdown

````{r echo=FALSE, message=FALSE, warning=FALSE}
library(dplyr)
library(tidyr)
library(stringr)
library(ggplot2)
library(stringr)
library(tidytext)
library(ggwordcloud)
library(polite) # Para examinar si es posible webscraping
library(rvest) # Acceso a links
library(tidyverse) # Tratamiento a datos
library(xml2) # Tratamiento a datos Html
library(xlsx)
library(writexl)
library(fs) #Proporciona una interfaz uniforme y multiplataforma para las
operaciones del sistema de archivos
library(readxl) #Importar archivos Excel
# Consultar si los datos son accesibles
````{r}
bow(
  url = "http://srt.marn.gob.sv/old/index.php?fecha=2022-12-01&rutina=ver_diarios",
  user_agent = "Danny Klinenberg <dklinenberg@ucsb.edu>"
)
# Marn
## Examinando tablero principal
````{r}
codigo_html <- read_html("http://srt.marn.gob.sv/old/index.php?fecha=2022-12-
01&rutina=ver_diarios")
tablas <- html_table(codigo_html)
class(tablas)
length(tablas)
tablas[[1]]
```

```

```{r}
# Extraendo número de registros
length<-summary(tablas) %>% as.vector()
length<-length[[1]] %>% as.integer()
length(tablas)
no_tablas_en_lista <- length(tablas)
# Genero una tabla vacia para irla llenando con las tablas dentro de la lista:
tabla_parcial <- data.frame()

# Hacemos un loop sobre las tablas
# Aqui hacemos lo descrito arriba:
for (j in 1:no_tablas_en_lista){
  tabla_parcial <- rbind.data.frame(tabla_parcial, tablas[[j]])
}
```# Salida
```{r}
write.xlsx(tabla_parcial,file = "C:/Users/InvestigacionSM/Desktop/Datos2022-
12.xlsx",sheetName="01-12-2022", append = TRUE)
#####02-12-2022#####
# Marn
## Examinando tablero principal
```{r}
codigo_html <- read_html("http://srt.marn.gob.sv/old/index.php?fecha=2022-12-
02&rutina=ver_diarios")
tablas <- html_table(codigo_html)
class(tablas)
length(tablas)
tablas[[1]]
```{r}
# Extraendo número de registros
length<-summary(tablas) %>% as.vector()
length<-length[[1]] %>% as.integer()
length(tablas)
no_tablas_en_lista <- length(tablas)
# Genero una tabla vacia para irla llenando con las tablas dentro de la lista:
tabla_parcial <- data.frame()
# Hacemos un loop sobre las tablas
# Aqui hacemos lo descrito arriba:
for (j in 1:no_tablas_en_lista){
  tabla_parcial <- rbind.data.frame(tabla_parcial, tablas[[j]])
}
# Salida
```{r}
write.xlsx(tabla_parcial,file = "C:/Users/InvestigacionSM/Desktop/Datos2022-
12.xlsx",sheetName="02-12-2022", append = TRUE)
```

```





# Dirección de Investigación y Proyección Social



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



Área de Tecnología  
2023