

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**Análisis espacio temporal y predictivo de la superficie de
los cuerpos de agua de la intercuenca del río
Chaychapampa, distrito de Velille, Chumbivilcas, Cusco**

Lucero Alejandra Contreras Valeriano
Jonathan Rolando Huarancca Mellado
Carlos Enrique Bustamante Toledo

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Ambiental

Cusco, 2024

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

A : Decano de la Facultad de Ingeniería
DE : José Vladimir Cornejo Tueros
Asesor de trabajo de investigación
ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación
FECHA : 07 de Julio de 2024

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

Título:

Análisis espacio temporal y predictivo de la superficie de los cuerpos de agua de la intercuenca del río Chaychapampa, distrito de Velille, Chumbivilcas, Cusco

Autores:

1. Lucero Alejandra Contreras Valeriano – EAP. Ingeniería Ambiental
2. Jonathan Rolando Huaranca Mellado – EAP. Ingeniería Ambiental
3. Carlos Enrique Bustamante Toledo – EAP. Ingeniería Ambiental

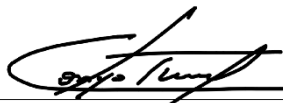
Se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 16 % de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

Filtro de exclusión de bibliografía	SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>
Filtro de exclusión de grupos de palabras menores Nº de palabras excluidas (en caso de elegir "SI"):10	SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>
Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante	SI	<input type="checkbox"/>	NO	<input checked="" type="checkbox"/>

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,



Asesor de trabajo de investigación

ASESOR

José Vladimir Cornejo Tueros

AGRADECIMIENTOS

Agradecer a la universidad Continental por el apoyo para culminar y alcanzar esta hermosa meta trazada de concebirnos como ingenieros ambientales.

A nuestro asesor Dr. José Vladimir Cornejo Tueros por apoyarnos en cada etapa de la elaboración de la presente tesis.

A los integrantes del jurado por brindar tiempo y dedicación en el proceso de revisión del presente trabajo.

Agradecer a nuestros docentes de pregrado por ponerle el mayor empeño en las asignaturas que se nos fueron brindando en el transcurso de nuestra formación profesional.

DEDICATORIA

A mi padre Luis Darío Contreras Cuellar y mi madre Micayla Valeriano Llavilla, por los esfuerzos y sacrificios que hicieron para que el día de hoy este aquí, mis hermanos Cesar y Hilary por su motivación e inspiración, para que continúe y no dé un paso atrás.

Lucero Alejandra Contreras Valeriano

A mi padre por ser forjador de mi camino, a mi madre por ser la tinta y papel con la cual escribo mi futuro, a mis hermanos por caminar de la mano conmigo, a mis amigos con quienes compartí gratos recuerdos.

Carlos Enrique Bustamante Toledo

En memoria de mi madre Segundina Mellado Quispe, de ella atesoro aquellos bellos momentos que aunque duelen también sanan mi corazón, por representar la fuerza que me ha permitido salir adelante, este trabajo va dedicado a mis hermanos y amigos quienes son un apoyo innegable, a la universidad Continental por permitirme concluir una etapa de mi vida, a mi sobrinita Sol D' Isabel Anthonella quien representa lo más hermoso del año 2023 para mi familia, ha bendecido nuestro hogar y es fuente de inspiración y alegría quien me enseñó que sonreír es más importante que recordar.

Jonathan Rolando Huaranca Mellado

ÍNDICE GENERAL

ASESOR.....	iv
AGRADECIMIENTOS	v
DEDICATORIA.....	vi
ÍNDICE GENERAL	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiv
RESUMEN	xv
ABSTRACT	xvi
INTRODUCCIÓN	xvii
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO.....	18
1.1. Planteamiento y Formulación del Problema.....	18
1.1.1. Planteamiento del Problema.....	18
1.1.2. Formulación del Problema	19
1.2. Objetivos.....	19
1.2.1. Objetivo General	19
1.2.2. Objetivos Específicos.....	19
1.3. Justificación	20
1.3.1. Justificación ambiental.....	20
1.3.2. Justificación metodológica	20
1.3.3. Justificación teórica.....	22
1.4. Delimitación del proyecto	22
1.5. Hipótesis y variables	22
1.5.1. Hipótesis General	22
1.5.2. Hipótesis Específicas.....	22
1.5.3. Variables.....	23
1.6. Operacionalización de variable	22
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.....	23
2.1. Antecedentes del problema.....	23
2.1.1. Antecedentes Internacionales	23
2.1.2. Antecedentes Nacionales.....	23
2.1.3. Antecedentes Locales.....	25
2.2. Bases teóricas	25
2.3. Autocorrelación.....	25
2.3.1. Arc Gis.....	25

2.3.2.	Bandas.....	26
2.3.3.	Correlación.....	26
2.3.4.	Cuerpos acuáticos lénticos	26
2.3.5.	Cuerpos acuáticos lóticos	27
2.3.6.	Copernicus	27
2.3.7.	Déficit hídrico	27
2.3.8.	Desviación estándar.....	27
2.3.9.	Excel	28
2.3.10.	Espectro electromagnético.....	28
2.3.11.	Flujo Hídrico	31
2.3.12.	Google Earth	31
2.3.13.	Índice de agua de diferencia normalizada (NDWI)	31
2.3.14.	Imagen Pancromática	31
2.3.15.	Imputación	32
2.3.16.	Intercuencia	32
2.3.17.	Landsat 8.....	32
2.3.18.	Multitemporal.....	32
2.3.19.	Predicción.....	32
2.3.20.	Prueba de Estacionalidad - Test de Kruskal Wallis.....	33
2.3.21.	Prueba de Estacionariedad - Test de Dickey Fuller.....	33
2.3.22.	Prueba de Normalidad – Test de Kolmogorov Smirnov	33
2.3.23.	Prueba de tendencia - Mann Kendall.....	34
2.3.24.	Ráster	34
2.3.25.	Reflectancia.....	35
2.3.26.	Río.....	35
2.3.27.	SENAMHI	35
2.3.28.	SENTINEL 2.....	35
2.3.29.	Series de tiempo	35
2.3.30.	SPSS.....	36
2.3.31.	STATA.....	36
2.3.32.	Superficie	36
2.3.33.	USGS	36
2.3.34.	Variable no paramétrica.....	37
2.3.35.	Varianza.....	37
2.3.36.	VISIO.....	37
CAPÍTULO III METODOLOGÍA.....		39
3.1.	Método, tipo y nivel de investigación.....	39

3.1.1.	Método de la investigación.....	39
3.1.2.	Método específico de la investigación.....	39
3.1.3.	Tipo de la investigación.....	39
3.1.4.	Nivel de la investigación.....	40
3.2.	Diseño de la investigación.....	40
3.3.	Población y muestra.....	47
3.3.1.	Población.....	47
3.3.2.	Muestra.....	47
3.4.	Metodología de la experimentación.....	47
3.4.1.	Ubicación geográfica.....	47
3.4.2.	Descripción geográfica.....	49
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		51
4.1.	Análisis de los datos obtenidos.....	51
4.2.	Análisis visual y especificaciones generales.....	51
4.2.1.	Distribución espacio temporal mediante NDWI de la Intercuenca del Rio Chaychapampa.....	52
4.3.	Alteración de la superficie de los cuerpos de agua.....	60
4.3.1.	Variación mensual por cada año de la superficie de los cuerpos de agua.....	60
4.3.2.	Variación anual desde 2013 hasta el 2022 en el área de estudio.....	69
4.4.	Formulación del modelo matemático y análisis predictivo para los años 2023 al 2025...70	
4.4.1.	Prueba de Normalidad – Test de Kolmogorov-Smirnov.....	72
4.4.2.	Prueba de Tendencia – Test de Mann Kendall.....	74
4.4.3.	Prueba de Estacionalidad – Test de Kruskal Wallis.....	77
4.4.4.	Prueba de Estacionariedad – Test de Dickey Fuller.....	79
4.4.5.	Identificación del Modelo Predictivo – Modelo ARMA (p, q).....	82
4.4.6.	Construcción del Modelo Predictivo – Modelo ARMA (p,q).....	85
4.4.7.	Validación del Modelo Predictivo – Modelo ARMA (p,q).....	87
4.4.8.	Predicción a través modelo ARMA (1,1).....	89
4.4.9.	Análisis predictivo de los cuerpos de agua de la Intercuenca del rio Chaychapampa desde el año 2023-2026.....	90
CONCLUSIONES.....		94
RECOMENDACIONES.....		96
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		97
ANEXOS.....		103

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: índice de agua de diferencia normalizada en la Intercuenca del río Chaychapampa con el satélite Landsat 8.....	21
Figura 2: índice normalizado de agua modificado de la Intercuenca del río Chaychapampa con el satélite Sentinel 2.	21
Figura 1: Análisis por MNDWI para las bandas 3 y 5 del satélite LANDSAT 8.....	41
Figura 2: Análisis por NDWI para las bandas SENTINEL 2.....	42
Figura 3: Determinación de área de estudio para bandas procesadas en SENTINEL 2	43
.....	44
Figura 4: Determinación de área de estudio para bandas procesadas en LANDSAT 8.....	44
Figura 5: Cuantificación de la superficie (área) total de los cuerpos de agua	45
Figura 6: Imputación de datos.....	46
Figura 9: Delimitación Geográfica de la Intercuenca del río Chaychapampa.....	48
Figura 10: Distribución espacial y temporal de la superficie de los cuerpos acuáticos de la Intercuenca del río Chaychapampa mediante el NDWI en imágenes satelitales Landsat 8	52
Figura 11: Distribución espacial y temporal de la superficie de los cuerpos acuáticos de la Intercuenca del río Chaychapampa mediante el NDWI en imágenes satelitales Sentinel 2.....	53
Figura 12: Comparativa de superficie de la laguna Pumacocha del mes de agosto por año.	55
Figura 13: Comparativa de la superficie de la laguna Parihuana.	57
Figura 14: Comparativa de superficie de la laguna Orccococha, Querquecocha y Tacracocha	59
.....	59
Figura 15: Comparativa de la superficie en m² de los cuerpos de agua de la Intercuenca del río Chaychapampa por meses en el año 2013	60
Figura 16: Comparativa de la superficie en m² de los cuerpos de agua de la Intercuenca del río Chaychapampa por meses en el año 2014.....	61
Figura 17: Comparativa de la superficie en m² de los cuerpos de agua de la Intercuenca del río Chaychapampa por meses en el año 2015	62
Figura 18: Comparativa de la superficie en m² de los cuerpos de agua de la Intercuenca del río Chaychapampa por meses en el año 2016	63
Figura 19: Comparativa de la superficie en m² de los cuerpos de agua de la Intercuenca del río Chaychapampa por meses en el año 2017	64
Figura 20: Comparativa de la superficie en m² de los cuerpos de agua de la Intercuenca del río Chaychapampa por meses en el año 2018	65
Figura 21: Comparativa de la superficie en m² de los cuerpos de agua de la Intercuenca del río Chaychapampa por meses en el año 2019.....	66

Figura 22: Comparativa de la superficie en m² de los cuerpos de agua de la Intercuenca del río Chaychapampa por meses en el año 2020	67
Figura 23: Comparativa de la superficie en m² de los cuerpos de agua de la Intercuenca del río Chaychapampa por meses en el año 2021	68
Figura 24: Comparativa de la superficie en m² de los cuerpos de agua de la Intercuenca del río Chaychapampa por meses en el año 2022	69
Figura 25: Comparativa de la superficie en m² de los cuerpos de agua de la Intercuenca del río Chaychapampa de los años de estudio desde 2013 hasta el 2022	70
Figura 26: Interpretación del nivel de confianza a partir del intervalo de la media en base a una distribución normal	71
Figura 27: Amplitud del intervalo de confianza respecto a A (H ₀) y B (Estimación de diferencias encontradas).....	71
Figura 28: Comando formulado para la Intercuenca del río Chaychapampa	73
Figura 29: Resultado de test Kolmogórov-Smirnov en STATA.....	73
Figura 30: Representación de la Distribución Normal obtenida.....	74
Figura 31: Resultado del test Mann Kendall en STATA	76
Figura 32: Representación de Tendencia Obtenida respecto a su frecuencia.....	76
Figura 33: Representación de Tendencia Obtenida respecto a su fecha.....	77
Figura 34: Resultado de test de Kruskal Wallis en STATA.....	79
Figura 35: Valores para el test de Dickey Fuller.....	80
Figura 36: Valores de las tablas de Dickey Fuller	81
Figura 37: Resultado de test de Dickey Fuller en STATA	82
Figura 38: Numero de rezagos de la Autocorrelación Simple	83
Figura 39: Numero de rezagos de la Autocorrelación Parcial	84
Figura 40: Correlograma de la autocorrelación simple y parcial.....	85
Figura 41: Resultados modelo ARMA	86
Figura 42: Análisis de índice AIC y BIC.....	86
Figura 43: Resultado Test de ruido Blanco.....	87
Figura 44: Representación de residuos obtenidos	88
Figura 45: Resultado de test de Dickey Fuller en STATA de los residuos	88
Figura 46: Autocorrelación Simple - proceso autorregresivo de los residuos.....	89
Figura 47: Autocorrelación Simple – Medios Móviles de los residuos	89
Figura 48: Pronostico al año 2026 de la Intercuenca del río Chaychapampa	90
Figura 49: Comparativa de la superficie en m² de los cuerpos de agua de la Intercuenca del río Chaychapampa por meses en el año 2023	91
Figura 50: Comparativa de la superficie en m² de los cuerpos de agua de la Intercuenca del río Chaychapampa por meses en el año 2023	92

Figura 51: Comparativa de la superficie en m² de los cuerpos de agua de la Intercuenca del río Chaychapampa por meses en el año 2025	93
Figura 52: Comparativa de la superficie en m² de los cuerpos de agua de la Intercuenca del río Chaychapampa por meses en el año 2026	93

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Operacionalización de variables.....	22
Tabla 2: Características de las Ondas Electromagnéticas.....	30
Tabla 3: Comparativa de área en los años 2013 y 2022.....	51

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Mapas procesados en el software Arc GIS de las superficies de cuerpos acuáticos en la Intercuenca del río Chaychapampa, región Cusco desde el año 2013 al 2022.....	103
Anexo 2: Resultados de los valores del área de las superficies de los cuerpos de agua de la Intercuenca del Río Chaychapampa región Cusco extraídas a partir del procesamiento del software Arc GIS.	136
Anexo 3: Resultados de la imputación de datos faltantes de los valores de los cuerpos acuáticos de la Intercuenca del río Chaychapampa región Cusco en el software SPSS.	137
Anexo 4: Procesamiento de datos estadísticos para la respectiva validación de datos en el software STATA y posterior planteamiento del modelo predictivo.....	138
Anexo 5: Valores de los datos generados mediante el modelo predictivo en el software STATA desde el año 2023 al 2026	141

RESUMEN

La Intercuenca del río Chaychapampa se encuentra en el distrito de Velille, de la provincia de Chumbivilcas, la importancia del área de estudio se debe por sus paisajes naturales y sus actividades económicas que dependen de los recursos hídricos en la zona, por tal motivo el presente trabajo de investigación plantea como el principal objetivo el de realizar un análisis espacio temporal y predictivo de la superficie de los cuerpos de agua de la Intercuenca del río Chaychapampa, distrito de Velille, Chumbivilcas, Cusco entre los años 2013 a 2022, a partir de la recolección de imágenes por teledetección a través de plataformas como COPERNICUS y la USGS (United States Geological Survey), se determinó la distribución espacial y temporal de los cuerpos de agua gracias con la aplicación del índice de agua de diferencia normalizada (NDWI) que nos permite visualizar el comportamiento de los cuerpos de agua de mes a mes, concluyendo que el año 2018 fue el año con mayor reducción en comparación a todos los años de estudio que se logró calcular gracias al software ArcGIS.

La cantidad de la muestra es de 80 datos que fueron procesados en el software STATA empleando test de validación estadística, los cuales fueron Kolmogórov-Smirnov, Test de Mann Kendall, Test de Kruskal Wallis y Test de Dickey Fuller los mismos que fueron base para la construcción del modelo predictivo ARMA (p, q).

Palabras clave: Teledetección, NDWI, Análisis espacio multitemporal, Test de validación, Modelo predictivo.

ABSTRACT

The Chaychapampa river inter-basin is located in the district of Velille, in the province of Chumbivilcas, the importance of the study area is due to its natural landscapes and its economic activities that depend on water resources in the area, for this reason the present research work proposes as the main objective to perform a spatial-temporal and predictive analysis of the surface of the water bodies of the Chaychapampa river inter-basin, district of Velille, Chumbivilcas, Cusco between the years 2013 to 2022, from the collection of remote sensing images through platforms such as COPERNICUS and the USGS (United States Geological Survey), the spatial and temporal distribution of water bodies was determined thanks to the application of the normalized difference water index (NDWI) that allows us to visualize the behavior of water bodies from month to month, concluding that the year 2018 was the year with the greatest reduction compared to all the years of study that was managed to calculate thanks to the ArcGIS software.

The amount of the sample is 80 data that were processed in STATA software using statistical validation tests, which were Kolmogorov-Smirnov, Mann Kendall Test, Kruskal Wallis Test and Dickey Fuller Test which were the basis for the construction of the predictive model ARMA (p, q).

Key words: Remote sensing, NDWI, Multitemporal spatial analysis, Validation test, Predictive model.

INTRODUCCIÓN

La Intercuenca del río Chaychapampa, es la principal fuente hídrica para el distrito de Velille Provincia de Chumbivilcas, región Cusco, cuyas actividades predominantes son la agricultura y ganadería, las mismas que son abastecidas por los diversos cuerpos acuáticos provenientes de dicha Intercuenca, si bien es cierto la explosión demográfica fue conllevando a la necesidad de cubrir nuestras necesidades primarias, como una buena calidad de vida, por ende los recursos naturales hídricos se vieron afectados directamente por las diversas actividades antrópicas como los ya mencionados, así mismo por mayor influencia de un sobrepastoreo, contaminación de los cuerpos acuáticos disponibles, como procesos de eutrofización por el uso de fertilizantes y plaguicidas, la sobre explotación del recurso hídrico para consumo de la población y sus respectivas actividades, entre otros factores los cuales contribuyeron con el transcurrir de los años en la disminución de los mismos.

Conforme se vieron las consecuencias a corto plazo por el actuar antrópico en dichos recursos hídricos, también se está presenciando la influencia de diversos fenómenos como principales autores en la disminución de la superficie de la Intercuenca del río Chaychapampa, tal es el caso del cambio climático, calentamiento global, efecto invernadero, que traen consigo el aumento radical de temperatura, escasez de precipitaciones pluviales, que fueron contribuyendo a la modificación de la distribución de los cuerpos acuáticos a lo largo de los años, generando variabilidad espacial y temporal de los cuerpos hídricos de la Intercuenca del río Chaychapampa, producto de ello los ecosistemas predominantes consumen las pocas reservas hídricas en épocas de estiaje, las mismas que se logran presenciar en la distribución superficial de toda la Intercuenca.

Por ende se procede a realizar el uso de herramientas digitales para la delimitación de la distribución espacio temporal de las superficies acuáticas a lo largo de 10 años para obtener datos estadísticos los mismos que nos brindaran información relevante que se podrá usar para una consecuente predicción del comportamiento de los mismos, el presente trabajo de investigación tiene por propósito el de delimitar la distribución de la Intercuenca del río Chaychapampa, mediante el uso de imágenes satelitales brindadas por dos plataformas Copernicus y USGS, las mismas que serán procesadas en el software Arc GIS, determinar la variación de las superficies de todos los cuerpos acuáticos para la comprobación del decreciente comportamiento de las áreas observadas, obtener datos verificables mediante pruebas no paramétricas, posterior a ello elaborar un modelo predictivo proyectado a los próximos 3 años cuyos resultados serán de suma importancia para formular acciones correctivas y de brindar información relevante de los cambios que sufrirán ante una posible escasez de tal recurso de suma vitalidad.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y Formulación del Problema

1.1.1. Planteamiento del Problema

En el transcurso de los años se evidencio que los diversos factores ambientales tal es el caso del calentamiento global, cambio climático, y entre otros, tienen una significativa influencia en las variaciones abruptas de temperaturas como también en los ciclos hidrológicos, los últimos en mención son los principales autores del estrés hídrico los cuales implican el déficit del recurso hídrico para diversas actividades ya sea para consumo, agricultura, ganadería y hasta generación de fuentes de energía, y en algunos casos llegando a un punto extremo de sequias y con desastrosas consecuencias a largo y corto plazo (1).

En base a los análisis efectuados por la Autoridad Nacional del Agua (ANA), se precisó que hubo un pico alto de déficit del recurso hídrico en el Perú entre los años 2000 a 2010 con 163 casos de sequias, los cuales generaron perdidas de cultivos, ganaderas, generación de plagas y afección directa a la salud pública (2).

En la región Cusco el déficit hídrico es un tema sensible a la percepción humana debido a que hoy en día ya se está viviendo en carne propia, como principal factor se tiene la escasez de precipitaciones pluviales los cuales generan una disminución abismal en el volumen hidrológico en las cuencas de los ríos Vilcanota y Urubamba, en una proyección al 2050 se tiene un déficit hídrico claro en estas dos cuencas las mismas que traerían consecuencias negativas directas a sus respectivas poblaciones.

El distrito de Velille de la provincia de Chumbivilcas cuenta con dos principales alimentadores hídricos, el Rio Chaychapampa y el Rio Velille, los cuales se encargan de facilitar las variadas acciones netas que caracterizan a la región como la agricultura, y con predominancia en ganadería, sin embargo a lo largo de la última década se notó una disminución del flujo hídrico en el rio Chaychapampa, lo cual genero alarma entre sus pobladores, quienes son sus principales beneficiarios viéndose así afectados de manera directa.

1.1.2. Formulación del Problema

1.1.2.1. Problema General

¿Cómo es la evolución espacio temporal y predictiva de la superficie de los cuerpos de agua de la Intercuenca del río Chaychapampa, distrito de Velille, provincia de Chumbivilcas de la región Cusco?

1.1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es la distribución espacial y temporal de los cuerpos de agua de la Intercuenca del río Chaychapampa entre los años 2013 a 2022?
- ¿Cuál es la superficie de los cuerpos de agua de la Intercuenca del río Chaychapampa entre los años 2013 a 2022?
- ¿Cuál será el estado de la superficie de los cuerpos de agua de la Intercuenca del río Chaychapampa al año 2025?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Realizar el análisis espacio temporal y predictivo de la superficie de los cuerpos de agua de la Intercuenca del río Chaychapampa, distrito de Velille, provincia de Chumbivilcas de la región Cusco.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Determinar la distribución espacial y temporal de los cuerpos de agua de la Intercuenca del río Chaychapampa entre los años 2013 a 2022.
- Calcular la superficie de los cuerpos de agua de la Intercuenca del río Chaychapampa entre los años 2013 a 2022.
- Proyectar el estado de la superficie de los cuerpos de agua de la Intercuenca del río Chaychapampa al año 2025.

1.3. Justificación

1.3.1. Justificación ambiental

En los últimos años se percibe que hubo una reducción de las riberas de los cuerpos de agua lénticos y lóticos, esto es alarmante por que el recurso hídrico juega una función primordial en el desenvolvimiento de las prácticas costumbristas por cada uno de los pobladores que pertenecen a la Intercuenca del río Chaychapampa; por lo que es importante hacer un seguimiento y/o análisis espacio temporal de la evolución del flujo hídrico, siendo el resultado la base para en un futuro adoptar medidas y/o estrategias adecuadas para evitar posibles eventos de escasez hídrica si en caso sea así.

Cabe recalcar que la reducción de la superficie de los cuerpos de agua de la Intercuenca del río Chaychapampa influye en el caudal ecológico y por lo cual afecta a los ecosistemas que predominan en la región.

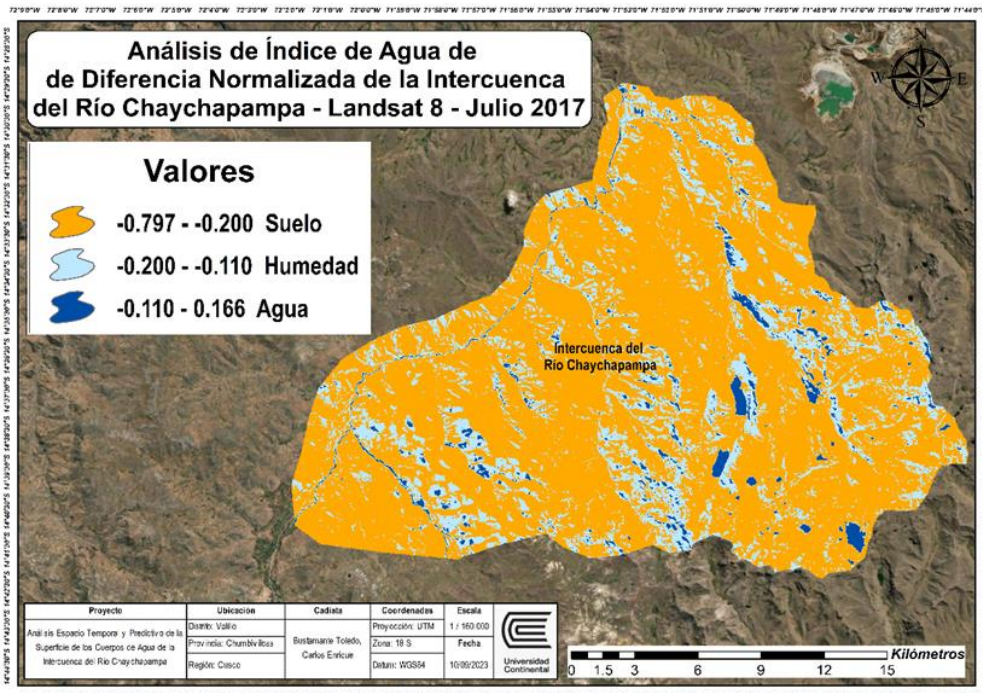
1.3.2. Justificación metodológica

Una vez que se corrobore los datos obtenidos por el método de análisis multitemporal con el manejo de imágenes satelitales Landsat 8 y Sentinel 2 a través del Índice de Agua de Diferencia Normalizada (NDWI) del estado de los cuerpos acuáticos se exportará al software estadístico SPSS, con el fin de imputar datos que complementen la información.

Si bien es cierto el análisis de datos se realizara mediante el uso de dos satélites, el sensor en Landsat 8, que mediante bases teóricas la imagen presenta un alcance de 30 metros, mientras que el Sentinel 2 llega hasta 10 metros, es por este motivo que el satélite de Sentinel 2 ofrece una mejor resolución, lo cual brindaría mejores resultados no obstante el ya mencionado satélite solo ofrece información a partir del año 2018 al 2022, usando así el satélite de Landsat 8 para los primeros años de estudio los cuales abarcan desde el 2013 hasta el 2017.

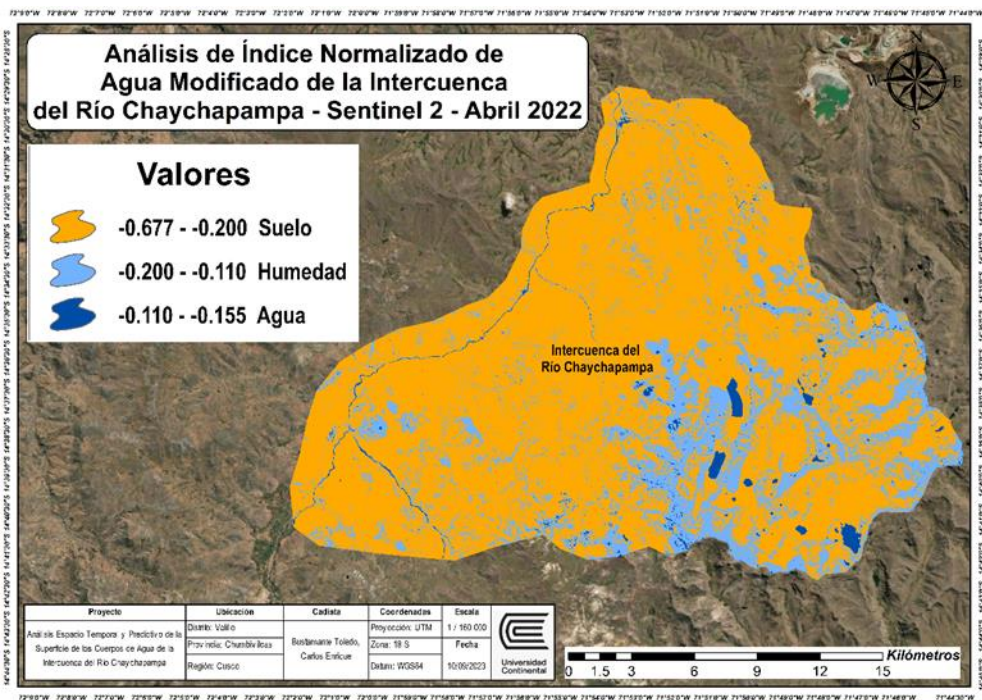
Posteriormente, se podrá apreciar la clara diferencia de ambos satélites, realizando una comparativa tanto del índice de agua de diferencia normalizada en la Intercuenca del río Chaychapampa con el satélite Landsat 8, con respecto al índice normalizado de agua modificado de la Intercuenca del río Chaychapampa con el satélite Sentinel 2. Las mismas que se evidencian en las presentes ilustraciones.

Figura 1: índice de agua de diferencia normalizada en la Intercuenca del río Chaychapampa con el satélite Landsat 8.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2: índice normalizado de agua modificado de la Intercuenca del río Chaychapampa con el satélite Sentinel 2.



Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, mediante el uso del software STATA se procede a realizar el análisis estadístico con el fin de obtener el modelo predictivo ARMA.

1.3.3. Justificación teórica

Mediante el actual estudio se busca plasmar el cambio de los cuerpos de agua en el tiempo, y con ello proyectar un régimen hídrico a unos 3 años, la cual nos brindara mayor información del cambio que sufre la Intercuenca por los diferentes factores que influyen en la misma, a su vez será una herramienta viable para poder predecir los sucesos que podrían darse a futuro; siempre y cuando el estudio se asemeje al nuestro.

1.4. Delimitación del proyecto

La delimitación del presente proyecto de investigación “Análisis espacio temporal y predictivo de la superficie de los cuerpos de agua de la Intercuenca del río Chaychapampa, distrito de Velille, Chumbivilcas, Cusco”. Para su elaboración:

- ✓ Acceso a la plataforma de información pública USGS (servicio geológico de los Estados Unidos), COPERNICUS.
- ✓ Los cuerpos de agua pertenecientes a la Intercuenca del río Chaychapampa donde se llevará a cabo el análisis y la toma de muestras por año.
- ✓ Procesamiento de imágenes satelitales a través del software Arc GIS 10.8.
- ✓ Imputación de datos en el software SPSS.
- ✓ Evaluación de datos mediante la aplicación de test, construcción de modelo predictivo mediante el software STATA.

1.5. Hipótesis y variables

1.5.1. Hipótesis General

Se presenta una reducción notable de la superficie de los cuerpos de agua en la Intercuenca del río Chaychapampa, distrito de Velille, provincia de Chumbivilcas de la región Cusco.

1.5.2. Hipótesis Específicas

- Mediante la distribución espacial y temporal se logró delimitar los cuerpos de agua en la Intercuenca del río Chaychapampa entre los años 2013 a 2022.
- La superficie de los cuerpos de agua de la Intercuenca del río Chaychapampa entre los primeros años muestra un nivel de variación mínima, a partir del 2017 en adelante se presenta un pico notable de variación.

- La reducción de la superficie de los cuerpos de agua de la Intercuenca del río Chaychapampa al año 2025 muestra una tendencia significativa, la cual conllevaría a la pérdida de pequeños ojos de agua.

1.5.3. Variables

1.5.3.1. Variable Independiente

- Índice de Agua de Diferencia Normalizada (NDWI)

1.5.3.2. Variable Dependiente

- Superficie de los cuerpos de agua

1.6. Operacionalización de variable

Tabla 1: Operacionalización de variables

TIPOS DE VARIABLES		DIMENSIONES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	INDICADOR	UNIDAD DE MEDIDA	TIPO DE VARIABLE	ESCALA DE MEDICIÓN
VARIABLE DEPENDIENTE	Superficie de cuerpos de agua	Cuerpos de agua lénticos y loticos	Cuerpos de agua lénticos: masas de aguas continentales que conforman un ecosistema de aguas de gran volumen de carácter tranquilo como lagos, lagunas, ojos de agua entre otros.	Precipitación	mm	Cuantitativa	Intervalo
				Volumen	m ³	Cuantitativa	Intervalo
				profundidad	m	Cuantitativa	Intervalo
		Cuerpos de agua loticos: Masas de aguas continentales que conforman ecosistemas de aguas en movimiento unidireccionales continuas como ríos, riachuelo, quebradas, entre otros	precipitación	mm	Cuantitativa	Intervalo	
			Volumen	m ³	Cuantitativa	Intervalo	
			Caudal	m ³ /s	Cuantitativa	Intervalo	
VARIABLE INDEPENDIENTE	índice de agua de diferencia normalizada (NDWI)	Landsat 8 BANDAS 3 Y 5	Es aquella franja del espectro electromagnético que operan en el sensor del satélite para captar los niveles de energía emitidos por objetos y ser traducida digitalmente en forma de imagen.	Verde	495–570 nm	Cuantitativa	Intervalo
		Sentinel 2 BANDAS 3 Y 8		Rojo	620–750 nm	Cuantitativa	Intervalo
				Azul	450–495 nm	Cuantitativa	Intervalo

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del problema

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Tesis titulada: “Utilización de Datos Gravimétricos Grace e Imágenes Noaa en un Análisis Multitemporal de la Masa Hídrica de la Cuenca del Río Paraná (Argentina)” (3) con el **objetivo general:** Realizar un análisis multitemporal de la Cuenca del Plata en Argentina a través de datos gravimétricos GRACE e imágenes satelitales NOAA para el período 2003-2008. **Metodología:** Se realizó un seguimiento al comportamiento de los cursos de agua y su respectiva evolución durante un periodo de años entre el 2003 al 2008, para ello se hizo el uso de dos bases de datos, la primera es GRACE proporcionada por la NASA, para ello se destacó la imagen con mayor varianza en su nivel de agua durante el periodo de estudio, y la segunda información que proporciona la Prefectura Naval Argentina **Conclusiones:** Se concluye que ambas metodologías demostraron eficiencia para poder determinar la mayor variación del agua durante el periodo de estudio, así mismo teniendo un mayor pico de variación en temporadas primaverales.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Tesis titulada: “Cuantificación de la Alteración Hidrológica en la Cuenca Amazónica para el periodo 1974 - 2012” (4) con el **objetivo general:** Cuantificar la alteración hidrológica en 14 ríos perteneciente a la Cuenca del Amazonas para el periodo 1974 - 2012. **Metodología:** Se organizó los valores periódicos de caudales de las instalaciones de medida del sector y luego se realizó una síntesis preliminar de valores, una caracterización de la variación provisional, un análisis hidrológico de los registros de caudales, determinar las tendencias y los cambios regionales y analizar los parámetros de los Índices de Alteración Hidrológica (IHA) determinando los componentes del caudal ambiental para cada unidad geográfica. **Conclusiones:** Se observó una intensificación en las tendencias negativas para el caudal mínimo esto debido a las sequías presentadas en los años 2005 y 2010 entre los años 1974 y 2012.

Trabajo de investigación titulada: “Análisis del balance de masa para la evaluación del régimen hidrológico empleando técnicas de teledetección satelital y modelos hidrológicos – caso estudio: Cabecera de la cuenca Cachi - Apacheta, región Ayacucho” (5) con el **objetivo general:** Analizar el balance de masa para la evaluación del régimen hidrológico de la cabecera de cuenca Cachi – Apacheta, Región Ayacucho, empleando técnicas de teledetección satelital y

modelos hidrológicos. **Metodología:** Se recopila información de los valores de la estación hidrometeorológica Apacheta (precipitación, temperatura, datos de aforo, entre otros) e indicadores hidroclimáticos (radiación solar, tipo y uso de suelo, NDVI, NDWI, NDSI), vegetación y suelo de Apacheta; luego se prosigue la delimitación de la Microcuenca Apacheta y ríos con teledetección y SIG; luego se da un análisis estadístico de los resultados y series de tiempo y generar mapas, series de tendencia, correlaciones y pronósticos. **Conclusiones:** Se logró determinar la distribución espacial y temporal de la cobertura de nieve (NDSI), cobertura de vegetación (NDVI), cobertura de humedad del suelo (NDWI), en la microcuenca Apacheta, región Ayacucho, mediante imágenes de satélite Landsat 5,7 y 8, y los productos MOD10A1, MOD13Q1 del sensor MODIS a bordo del satélite Terra en donde se registró un incremento de la temperatura y cantidad de precipitación.

Artículo titulado: “Análisis multitemporal y predictivo del cambio de uso de suelo y pérdida de la cobertura vegetal en la microcuenca Yuyac, Amazonas, 2018” (6) con el **objetivo general:** Realizar un análisis multitemporal y predictivo del cambio de uso de suelo y pérdida de cobertura vegetal en la Microcuenca Yuyac, Amazonas. **Metodología:** Se implicó dos fases; el primero fue de gabinete que consta en la indagación de información y valores patentados sobre el área de estudio mediante una revisión bibliográfica; parte de esta fase también se trabajó el procesamiento y análisis de valores obtenidos, donde se tuvo que organizar y analizar todos los valores obtenidos en fase de campo, el cual consistió en salidas al área de estudio con la finalidad de recopilar información primaria, verificar la exactitud de los mapas y generar puntos de control terrestre (GPS) para la validación de estos, para el análisis multitemporal y predictivo de los cambios de uso de suelo y pérdida de cobertura vegetal con el software de Arc Gis 10.5 y así realizar la redacción de informe. **Conclusiones:** Se logró caracterizar seis clases de cobertura y uso de suelo, de las cuales la cobertura boscosa es la mayor superficie que abarca, seguida de la cobertura de mosaico de pastos y cultivos; de los cuales la cobertura boscosa sufrió una pérdida de área considerable, mientras de que la cobertura de pastos y cultivos tuvo una ganancia de área.

Trabajo de investigación titulada: “Análisis multiespectral mediante imágenes satelitales para identificar zonas de recarga hídrica subterránea en la cuenca Jequetepeque” (7) con el **objetivo general:** Identificar las zonas de recarga hídrica subterránea en la cuenca Jequetepeque. **Metodología:** En primera instancia, se obtuvo imágenes satelitales Landsat 8 de los meses de julio y agosto del año 2017 del portal web USGS, luego se procedió a realizar una corrección atmosférica y radiométrica; luego aplicar los índices NDVI y NDWI, pendientes y temperaturas. **Conclusiones:** Se concluyó en la identificación de las zonas de recarga hídrica subterránea con una certeza promedio de 94%, en donde el NDVI dejó que la vegetación

vigorosa que oscila entre los rangos de 0.4 a 1 y para la vegetación dispersa que oscila entre 0.2 a 0.4; el NDWI dejó claro que no es útil para analizar flujo subterráneo por no tener valores negativos; la temperatura oscila entre los 5°C y 39°C y por último la pendiente varía entre 13.5° y 27°.

2.1.3. Antecedentes Locales

Trabajo de investigación titulada: “Instalación de los Servicios De Protección ante Inundaciones en los Ríos Waca y Chaychapampa, entre los Sectores de Porvenir Hatun Ccollana Y Cercado Velille, Del Distrito De Velille, Provincia De Chumbivilcas - Cusco” (8) con el **objetivo general:** determinar los caudales en máxima venida con un periodo de retorno de 105 años de la cuenca “Chaychapampa” en el punto de control denominado “Velille” **Metodología:** Se realiza un análisis pluviométrico con el cual se obtienen datos base de todas estaciones próximas al área de estudio de la investigación, una vez obtenidos estos datos se procede a desarrollar en base al uso del programa HEC-RAS versión 3.1.3, tomando como referencia HEC (2002a y 2002b) y la extensión HEC-GeoRAS en su versión 3.1.1 para ArcView 3.2, considerando un régimen Permanente 1-D. **Conclusiones:** Se determinó el punto de control denominado Velille, el que presenta el punto más crítico en la evaluación de los caudales máximos según los periodos de recojo del principal alimentador Rio Chaychapampa.

2.2. Bases teóricas

2.3. Autocorrelación

Se les denomina a las características que poseen una serie de datos según los grados de similitud que estos presentan en base a tiempos sucesivos. La autocorrelación se refiere a la determinación de un patrón lógico en base a datos numéricos o valores precedentes, que sirve para la predicción de valores ausentes. La misma que se puede mostrar como autocorrelación positiva como negativa; para poder diagnosticar la autocorrelación, se hace el uso de un correlograma, el último en mención es un diagrama que nos permite plasmar los datos y distribuirlos según los patrones lógicos que estos presentan de los datos ya obtenidos. Si bien es cierto una base de datos de por si puede mostrar un error de muestreo, es por ello que se debe de realizar pruebas estadísticas. (9)

2.3.1. Arc Gis

Al hablar de Arc Gis se trata de un programa o sistema que se encarga de compilar, disponer, aplicar, examinar, auxiliar y distribuir todo respecto a la información geográfica; esta plataforma tiene como principal función el de crear y usar el sistema de información geográfica

(SIG) con el propósito de proporcionar referencia geográfica relevante y de gran utilidad para empresas ya sea estatales o privadas, educación, comunidad científica, entre otros.

Normalmente se le atribuye al sistema ArcGIS como una infraestructura neta de elaboración de mapas y proporcionar información geográfica a disposición del público en general que lo llegue a requerir ya sea dentro de un departamento, para varias organizaciones, y al diverso público de la comunidad del internet. (10)

2.3.2. Bandas

Una banda esta expresada por una sola matriz compuesta por valores de pixeles, la misma ya mencionada es una de varias que compone un ráster, las cuales de manera coincidente representan la misma área espacial. (11)

Este conjunto de datos se puede apreciar en tres tipos los cuales son:

- Escalas grises: el pixel toma valor de 0 a otro número según sea el tipo de dato y la profundidad del mismo toma valores desde 255 (8 bits) o 65.535 (entero), mayor mente se usa para imágenes satelitales pancromáticas o aéreas
- Dos colores: en este tipo toma dos colores y se visualiza como blanco y negro un pixel toma valores de 0 o 1, mayormente se usa para mapas escaneados como es el caso de mapas de parcelas.
- Mapa de color: un conjunto de valores es codificados para tomar colores como rojo, verde y azul, y hace que cualquier imagen se represente con un color según sea su elevación

2.3.3. Correlación

Es un modelo de agrupación entre dos variables numéricas a través del cual se evalúa específicamente la tendencia, ya sea gradual o declinante, de los mencionados valores.

Dos parámetros están correlacionados cuando uno de ellos nos brinda información acerca de la otra. A la inversa, cuando no existe agrupación, el aumento o disminución de un parámetro no indica nada sobre el comportamiento de la otra, es decir, no existe correlación. (12)

2.3.4. Cuerpos acuáticos lénticos

Son masas de aguas continentales que son parte de un ecosistema de aguas con gran volumen de carácter tranquilo como lagos, lagunas, ojos de agua, entre otros. (13)

2.3.5. Cuerpos acuáticos lóticos

Son masas de aguas continentales que son parte de un ecosistema de aguas en movimiento unidireccionales continuas como ríos, riachuelo, quebradas, entre otros. (14)

2.3.6. Copernicus

Plataforma digital dedicada a la generación de imágenes satelitales con el propósito de analizar la evolución del medio ambiente y sus interacciones anteriormente conocida como GMES (Vigilancia mundial del medio ambiente y la seguridad) brinda servicios de vigilancia atmosférica, marina, terrestre, cambio climático, seguridad y emergencias geoespaciales. (15)

2.3.7. Déficit hídrico

Es aquella disparidad que se acumula entre la precipitación y la evapotranspiración potencial en una determinada transición de tiempo siendo la precipitación como la variable menor. (16)

2.3.8. Desviación estándar

Mediante la media de un conjunto de valores, se puede determinar la dispersión de los mismo, a este proceso se le conoce como desviación estándar, en otros términos se encarga de determinar en cuanto difieren los valores entre sí, la misma que tiene una alta dependencia de la media de dichos valores, puesto que si los valores numéricos presentan una cercanía entre si la desviación estándar será más baja, caso contrario si se muestra una lejanía entre los valores numéricos con la media la desviación estándar aumentara.

Se tiene dos tipos de desviación estándar, la muestral y la poblacional, la poblacional se refiere a la toma de datos de una población en general y en su totalidad, mientras que la muestral solo toma un pequeño conjunto de valores de una población.

Para poder determinar o hallar la desviación estándar se tiene que tomar en cuenta los valores observados y la media, a continuación, se muestra la formula a utilizar, cabe recalcar que la formula varía según el tipo de desviación estándar a hallar sea poblacional o muestral:

A) Fórmula para desviación estándar Poblacional:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N}}$$

Donde:

- σ : Desviación estándar poblacional
- x_i : Población
- \bar{x} : Media aritmética
- Σ : Sumatoria
- N : Número de valores de la población

B) Fórmula para desviación estándar Muestral:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}}$$

Donde:

- S : Desviación estándar muestral
- x_i : Población
- \bar{x} : Media aritmética
- Σ : Sumatoria
- N : Número de valores de la población

Para la fórmula de desviación estándar muestral se usa el termino -1 debido a que es una muestra incompleta. (17)

2.3.9. Excel

Herramienta de hoja de cálculos que ayuda a procesar grandes cantidades de datos como números, letras o formulas está estructurado en base a celdas ordenadas en filas y columnas además contienen un valor cualitativo o cuantitativo y será sometido a diferentes operaciones matemáticas u ordenarlos una de sus características es el de generar Figuras muy llamativos para así poder expresar mejor los resultados. (18).

2.3.10. Espectro electromagnético

El espectro electromagnético es la repartición de energías, conocidas comúnmente como radiaciones electromagnéticas, las cuales se pueden representar en forma de radiancia, pero normalmente son representadas como longitudes de onda como también frecuencias de las radiaciones. Las franjas del espectro se pueden diferenciar de otra según el comportamiento que estas presentan en sus procesos de emisión, adsorción y trasmisión.

El espectro electromagnético en si es ilimitado y continuo, donde la mayor longitud de onda involucra todo el tamaño del universo, pero se conocen sus regiones más conocidas como segmentos o bandas. (19)

Tabla 2: Características de las Ondas Electromagnéticas

Segmentos	Longitud de onda	Frecuencia
Rayos gamma	$\leq 10^{-10}$ m	$\geq 10^{19}$
Rayos X	$\leq 10^{-8}$ m	$\geq 10^{16}$
Radiación ultravioleta extrema	$\leq 10^{-8}$ m	$\geq 1,5 \times 10^{15}$
Radiación ultravioleta cercana	$\leq 380 \times 10^{-9}$ m	$\geq 7,89 \times 10^{14}$
Espectro visible de la luz	$\leq 780 \times 10^{-9}$ m	$\geq 384 \times 10^{12}$
Infrarrojo cercano	$\leq 2,5 \times 10^{-6}$ m	$\geq 120 \times 10^{12}$
Infrarrojo medio	$\leq 50 \times 10^{-6}$ m	$\geq 6 \times 10^{12}$
Infrarrojo lejano o submilimétrico	$\leq 350 \times 10^{-6}$ m	$\geq 300 \times 10^9$
Radiación de microondas	$\leq 10^{-2}$ m	$\geq 3 \times 10^8$
Ondas de radio de ultra alta frecuencia	≤ 1 m	$\geq 300 \times 10^6$
Ondas de radio de muy alta frecuencia	≤ 100 m	$\geq 30 \times 10^6$ Hz
Onda corta de radio.	≤ 180 m	$\geq 1,7 \times 10^6$.
Onda media de radio.	≤ 650 m	$\geq 650 \times 10^3$ Hz
Onda larga de radio	≤ 104 m	$\geq 30 \times 10^3$
Onda de radio de muy baja frecuencia	≥ 104 m	$\leq 30 \times 10^3$ Hz

Fuente: Leskow Coluccio (19)

2.3.11. Flujo Hídrico

Se les considera a los fenómenos geodinámicos donde el agua superficial de escorrentía tiene un rol importante, el cual se desplaza a lo largo de un lecho constante.

A los flujos hídricos se le puede encontrar en varios estados ya sea como un pequeño arroyo de manera temporal o como un gran curso de régimen constante de agua a los cuales denominamos comúnmente como ríos.

Podemos encontrar varios tipos de flujo hídrico, tal es el caso de flujos estacionarios, temporales o permanentes; todos estos pertenecientes a una unidad geográfica o cuenca. (20)

2.3.12. Google Earth

Se utiliza un sistema de información geográfica para la visualización de diversas cartografías basadas en imágenes satelitales y la creación de diferentes formas geométricas. Básicamente, esta aplicación permite a los usuarios explorar y navegar por el globo terráqueo virtual a través de imágenes satelitales y datos cartográficos, y está disponible en todas las plataformas, incluidas las versiones para dispositivos móviles y de escritorio. (21)

2.3.13. Índice de agua de diferencia normalizada (NDWI)

Como indica su nombre, es usado para identificar un aspecto en específico y las diferentes formas de masas de agua en una imagen satelital, ya que con la misma disminuimos de manera drástica la reflectancia que presentan los suelos y la vegetación.

El NDWI se calcula combinando GREEN/NIR (verde visible e infrarrojo cercano) el cual permite encontrar una variación evidente en la cantidad de masas de agua.

La fórmula del NDWI es la que se presenta a continuación:

$$\text{NDWI} = (\text{Green} - \text{NIR}) / (\text{Green} + \text{NIR})$$

Para datos de *Landsat 8*: NDWI: (Banda 3 – Banda 5) / (Banda 3 + Banda 5)

Para datos de *Sentinel 2*: NDWI: (Banda 3 – Banda 8) / (Banda 3 + Banda 8)

Para poder interpretar el NDWI se tienen que tomar en cuenta los valores, si los valores son mayores a 0,5 se trata de masas de agua. (22)

2.3.14. Imagen Pancromática

El data set ráster de superior resolución y banda única frecuentado para mejoramiento pancromático en la resolución espacial, bandas de color con menor resolución se fusiona con una banda de escala de grises en alta resolución y así brindar una imagen de gran detalle. (23)

2.3.15. Imputación

Si bien es cierto por diversas razones se dará la ausencia de datos, por lo que es de vital necesidad tener estos datos faltantes, el objetivo de la imputación es el de brindar una mayor aproximación a los valores reales de estos datos inexistentes, de esta manera se tendrá un análisis posterior más transparente, la única forma de confirmar si la imputación es correcta es con la inexistencia de deformidades de distribución y los estadísticos. (24)

2.3.16. Intercuenca

Esta es una unidad hidrográfica que está aguas abajo de otra unidad y recibe su drenaje.

Toda zona que está desaguada por una ordenanza de drenaje natural, y el enfoque está en el manejo de la naturaleza de los recursos hídricos con fines de conservación y planificación. (25)

2.3.17. Landsat 8

Satélite creado para la observación del planeta, para ellos fue lanzado y operado conjuntamente por la NASA y el USGS. Este actúa en luz visible, infrarrojo cercano, infrarrojo de onda corta e infrarrojo térmico, los cuales son percibidos por medio de dos sensores, estos sensores captan 11 bandas en base a la longitud de onda.

En cuanto al primer sensor, el cual es el Operational Land Imager (OLI) usa 9 bandas en el espectro de luz visible y el infrarrojo cercano. El Thermal InfraRed Sensor (TIRS) es el segundo sensor que se encarga de usar las otras dos bandas restantes.

Así mismo, el Landsat 8 se encarga de proporcionar imágenes con una moderada resolución, la cual oscila de los 15 metros hasta los 100 metros por pixel. (26)

2.3.18. Multitemporal

Técnica empleada para la interpretación en imágenes satelitales para así analizar cambios en la superficie terrestre o acuática a través del tiempo, de este modo se pueden analizar los cambios en el cuerpo seleccionado de estudio, su valor radica para la elaboración de toma de decisiones y monitoreos.

2.3.19. Predicción

Acción de pronóstico en base de un estudio de datos históricos de una respectiva variable o variables y el análisis de su comportamiento.

2.3.20. Prueba de Estacionalidad - Test de Kruskal Wallis

Es un tipo de prueba no paramétrica la cual usa muestras independientes a partir de tres poblaciones, tiene como objetivo principal el de validar la hipótesis nula la misma que indica que las muestras independientes son extraídas de poblaciones similares, la prueba de Kruskal Wallis es un reemplazo al análisis de varianza debido a que no considera ni la normalidad ni la existencia de poblaciones homogéneas de la varianza, así mismo cabe recalcar que dicho test no realiza predicciones de las medias, sin embargo se encarga de confirmar que al menos una muestra poblacional difiere del resto.

En conclusión, se encarga de validar la hipótesis nula, la cual demuestra que las muestras son aleatorias y que provienen de similares grupos poblacionales. (27)

2.3.21. Prueba de Estacionariedad - Test de Dickey Fuller

El test de Dickey Fuller tiene como función el de determinar raíces unitarias en las series de tiempo, y mediante ello comprobar si existe o no estacionariedad, en si detecta la conducta estocástica de las series temporales de variables mediante un contraste de hipótesis donde se tiene:

- Hipótesis nula: Las observaciones muestran existencia de tendencia estocástica estacionaria
- Hipótesis alternativa: Las observaciones no presentan tendencia estocástica estacionaria.

Para ello nos basaremos en un modelo AR(1) en donde el primer regresor si se aproxima a 1 es porque existe una tendencia en una serie temporal, todo en base a la propiedad de reversión a la media. (28)

2.3.22. Prueba de Normalidad – Test de Kolmogorov Smirnov

Para poder definir que es una prueba de normalidad, se debe de conocer el termino normalidad que es la agrupación de los datos en base un valor central la misma que posteriormente ayuda a su respectiva distribución simétrica. En estadística es fundamental determinar si la distribución es normal para su análisis, cabe recalcar que una distribución normal es aquella que presenta tanto moda, media y mediana valores iguales y se representa en forma de una campana simétrica, para ello se realiza la prueba de normalidad. Ya que esta nos permite determinar si los datos tienen una distribución normal caso contrario el análisis mostraría resultados erróneos. Entre las pruebas de normalidad más comunes se tienen:

- a) **Histograma con curva normal:** El gráfico debe presentar una campana simétrica, si la curva normal se superpone y se ajusta con el gráfico de barras es porque los datos están distribuidos de manera normal.
- b) **Cuantiles:** Se basa en la división de datos en partes iguales.
- c) **Pruebas de bondad de ajuste:** Este tipo de prueba se basa en la evaluación de un conjunto de datos y su ajuste ante una distribución teórica específica, entre las más comunes se tiene prueba de Shapiro-Wilk, la prueba de Anderson-Darling y la prueba de Kolmogorov-Smirnov. (29)

Tiene como función el de comparar la distribución acumulada de una variable con un modelo de distribución teórico determinado, dicho cálculo se realiza mediante la mayor diferencia de valor absoluto con los valores de la distribución acumulada teórica.

Esta prueba de por sí asume que los datos de la distribución fueron detectados previamente, los mismos que especifica parámetros en base a la muestra. Se tiene lo siguiente:

- Normal: Sus parámetros son la media y la desviación estándar.
- Uniforme: Definida por un rango de valores máximo y mínimo.
- Poisson: Tiene como parámetro la media muestral de distribución de Poisson.
- Exponencial: Tiene como parámetro la media muestral de distribución exponencial. (30)

2.3.23. Prueba de tendencia - Mann Kendall

Se utiliza para determinar series crecientes o decrecientes en base a un grupo de datos recopilados en un determinado tiempo, la misma es no paramétrica por lo cual no requiere que los datos pasen una prueba de normalidad, en caso de que los datos tengan una distribución normal solo se ejecuta una regresión lineal simple; cabe recalcar que los datos no deben de presentar correlación serial.

A más puntos de datos se tenga más probabilidad existe de tener una tendencia real, es por ello que es recomendable tener como mínimo entre 8 a 10 mediciones. Se maneja dos hipótesis la primera es la hipótesis nula, esta no presenta tendencia monótona, y la otra es la hipótesis alternativa, aquí existe tendencia ya sea positiva negativa y no nula. (31)

2.3.24. Ráster

Es un modelo de datos el cual tiene por propósito almacenar una imagen en específico.

El Ráster define el número de píxeles o celdas que se encuentran agrupadas en filas y columnas las cuales representan información, la cantidad exacta de bandas y la respectiva profundidad de

bits, los cuales componen a fotografías digitales, imágenes de satélite, imágenes digitales o incluso mapas escaneados. (32)

2.3.25. Reflectancia

Conformada por la irradiancia que refleja cualquier superficie receptora, el tipo de medida es de carácter adimensional ya que es muy diferente en cada superficie receptora, así como para cada cuerpo. (33)

2.3.26. Río

Es toda aquella corriente de agua que comienza en su fuente y fluye hacia su desembocadura en una laguna, lago u océano.

Este tipo de cursos de agua se caracterizan por su movimiento continuo en una sola dirección, creando un flujo definitivo e irreversible. Esto se conoce como estado lótico. (34)

2.3.27. SENAMHI

El SENAMHI o por sus siglas el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, es una institución peruana la cual se encarga de generar y proveer información detallada de conocimiento climático, meteorológico e hidrológico al público en general que requiera dicha información.

En 1969 se creó el SENAMHI, esto debido a la necesidad de obtener información necesaria en base a los diversos comportamientos que presenta la atmosfera, desde su creación se obtiene información oportuna y accesible sobre la situación actual y futura del tiempo, así como también del clima además de conocer el nivel de los ríos, la proporción de esta información ayuda a la toma de decisiones. (35)

2.3.28. SENTINEL 2

Satélite diseñadas específicamente en generar mayor cantidad de datos e imágenes utilizados por Copernicus de la Comisión Europea posee sensores de gran resolución, posee 13 bandas espectrales que ayudan a generar mayor calidad de las imágenes para superficies del planeta.

Revisa cada 5 días el mismo territorio manteniendo el mismo ángulo de visión abarca un rango de visión de 290 km además de seguir con una política de datos libres y en abierto lo que facilita la recopilación información para futuras investigaciones. (36)

2.3.29. Series de tiempo

Son colecciones de datos observables sobre un determinado fenómeno realizado a lo largo del tiempo en sucesivos momentos de una determinada variable “X”.

2.3.30.SPSS

SPSS o por el acrónimo Producto de Estadística de Solución de Servicio, es un software usuario de Windows usado para el análisis mediante tablas y Figuras estadísticos de manera compleja, ya que es capaz de manejar y gestionar grandes cantidades de data y realizar su respectivo análisis, el SPSS tiene 4 principales atributos los cuales son:

- A) **Estadísticas avanzadas:** tabulación cruzada, frecuencia, modelos lineales, entre otros.
- B) **Modeler:** Construcción de modelos predictivos.
- C) **Análisis de texto:** Factible para encuestas y su respectivo manejo y representación de datos.
- D) **Diseño de Visualización:** Creación de modelos visuales, como Figuras. (37)

2.3.31.STATA

Herramienta de análisis y modelación de grandes volúmenes de datos, este software crea extensiones similares al lenguaje de programación, entre sus principales funcionalidades se tiene el análisis estadístico mediante modelos de regresión, lineal, temporal y análisis de supervivencia; herramientas visuales como Figuras, programación y métodos de análisis multivariados como también datos longitudinales. (38)

2.3.32.Superficie

Área que constituye los cuerpos acuáticos en la zona de estudio medido en m².

2.3.33.USGS

La USGS o por sus siglas Servicio Geológico de los Estados Unidos, es la agencia más grande del país la cual se encarga de ciencias cartográficas como también del agua, tierra y biología.

Una de sus principales funciones es el de controlar los datos y su respectiva veracidad y garantía de los mismos, en caso de haber algún tipo de manipulación o modificación de los mismos la USGS se encarga de tomar las respectivas medidas pertinentes al caso, así mismo creo el comité

de laboratorio estratégico para tener un mayor control en la garantía de datos y no se afecte de manera directa a la integridad científica de la USGS.

Entre los principales casos en el cual la USGS tuvo influencia fue en la protección de comunidades que se verían afectadas por los flujos de lava, los cuales gracias a los datos brindado y su respectivo manejo se evitó la ruptura de uno de los oleoductos en Alaska, así mismo también en descubrimientos de agentes patológicos como el caso de la nariz blanca en murciélagos. (39)

2.3.34. Variable no paramétrica

Se trata de una variable no habida la cual debe de determinarse mediante la estadística no paramétrica ya que estamos frente al desconocimiento de la distribución de probabilidad, para ello se debe de averiguar el valor de variable aleatoria mediante pruebas no paramétricas, las mismas que nos ayudaran a determinar la variable mediante la cual se distribuyen una serie de datos, cabe recalcar que todo esto se hace con muestras estadísticas y los resultados no son infalibles y no tienen que ser 100% perfectos pero si fiables. (40)

2.3.35. Varianza

Es la medida de la dispersión de una serie de datos en base a su media, si bien es cierto la varianza es una medida muy sencilla no obstante en estadística es fundamental puesto que nos aporta información fundamental al hallar una variable en concreto. Para poder determinar la varianza se tiene la siguiente formula:

$$\text{VAR}(X) = \frac{\sum_1^N (x_i - \bar{x})^2}{n}$$

Donde:

- **X:** Varianza
- **x_i:** Valores de observación entre 1 y n.
- **n:** Número de observaciones.
- **\bar{x} :** Media de la variable X.

Se suele confundir la varianza con la desviación típica, sin embargo, estos difieren en que la varianza es la desviación típica elevado al cuadrado o viceversa la desviación típica vendría a ser la raíz cuadrada de la varianza. (41)

2.3.36. VISIO

Es un software de diseño profesional para todo tipo de Figuras o diagramas, los cuales se basa en plantillas profesionales ofrecidas por el programa como, por ejemplo, Mapas en 3D, Planos, Diagramas de flujo, organigramas, entre otros; este software lo podemos encontrar en dos versiones Standard y Professional. (42)

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1. Método, tipo y nivel de investigación

3.1.1. Método de la investigación

3.1.1.1. Método general o técnico de investigación

El método general que se atribuye en la presente investigación es el científico, ya que se aplica un procedimiento lógico y perspicaz enfocado a manejar una determinada serie de incógnitos (precipitación y superficie de área), todo esto en base a su origen, su esencia y/o su relación con o varios efectos.

Por otro lado, nos permite observar una manifestación sugestiva y de esta manera brindar una explicación a lo observado. Cabe recalcar que este método no es certero ni tampoco independiente, por lo cual debe partir de algún conocimiento previo que se requiera culminar o en todo caso ampliar. (43)

3.1.2. Método específico de la investigación

Análisis de imágenes por teledetección como método específico de investigación, esto quiere decir que emplearemos un software, que es el Arc Gis, para procesar las imágenes satelitales obtenidas por medio de las plataformas COPERNICUS y USGS con el fin de delimitar los cuerpos de aguas existentes en la Intercuenca del río Chaychapampa.

El procesamiento digital de imágenes satelitales es el paso clave y principal del cual depende la investigación del presente proyecto.

3.1.3. Tipo de la investigación

El tipo de investigación usada es la básica o pura porque está orientada a descubrir las normas o preceptos fundamentales, así como el de indagar los pensamientos o ideas de una ciencia, siendo considerada como un punto de soporte inicial para el estudio de las manifestaciones o sucesos.

La mayor finalidad de este modelo de investigación es la de generar nuevas formas de entendimiento o transformar los principios teóricos ya patentados, y así multiplicar los saberes científicos. (44)

3.1.4. Nivel de la investigación

El nivel de investigación es explicativo ya que va más allá de una simple definición de nociones o manifestaciones o de la creación de conexiones entre definiciones, este está dirigido a replicar a los distintos procesos ejercidos por eventos físicos.

La finalidad o el interés de esta investigación es el de explicar del por qué ocurre la variación de las superficies de cuerpos de agua en un periodo determinado y en qué condiciones se da este, o por qué dos o más variables están conectadas, en este caso la precipitación y la superficie de cuerpos de agua. (45)

3.2. Diseño de la investigación

El diseño de investigación utilizado es el no experimental, esta es aquella que se realiza sin operar las variables del estudio realizado o asignar aleatoriamente a los sujetos o a las condiciones.

En una investigación no experimental no se construye ningún tipo de emplazamiento, sino se genera una observación de situaciones ya presentes, no provocadas deliberadamente por el encargado de la realización de la investigación. (46)

Esto se ve reflejado en el Índice Diferencial de Agua Normalizada, este es un modelo estandarizado a nivel mundial y es imposible hacerlo variar intencionalmente; de igual manera las imágenes satelitales, que son datos históricos establecidos en un espacio geofigura y periodo determinado.

Figura 3: Análisis por MNDWI para las bandas 3 y 5 del satélite LANDSAT 8

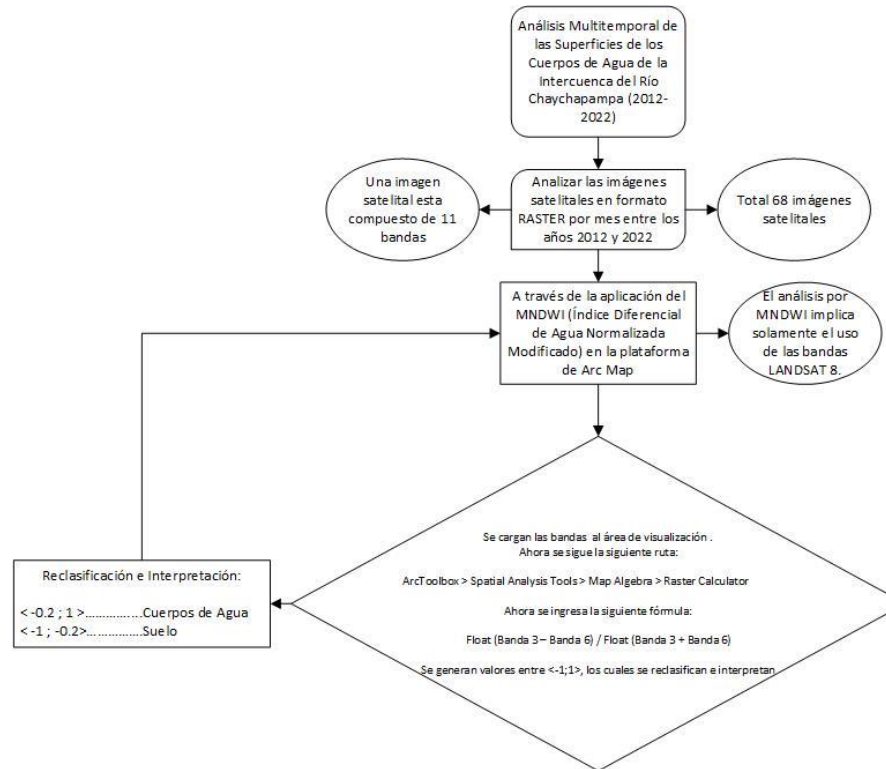


Figura 4: Análisis por NDWI para las bandas SENTINEL 2

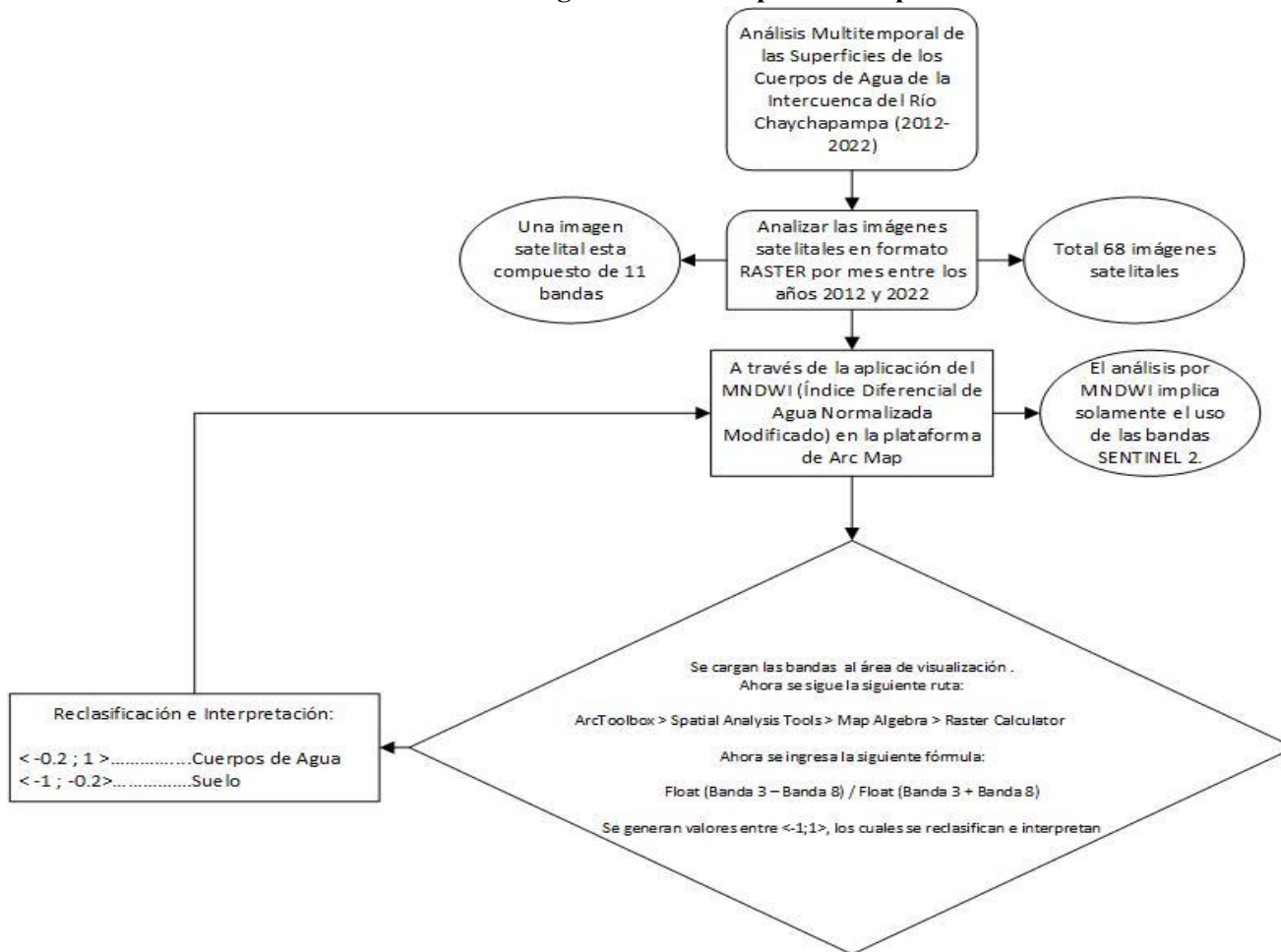


Figura 5: Determinación de área de estudio para bandas procesadas en SENTINEL 2

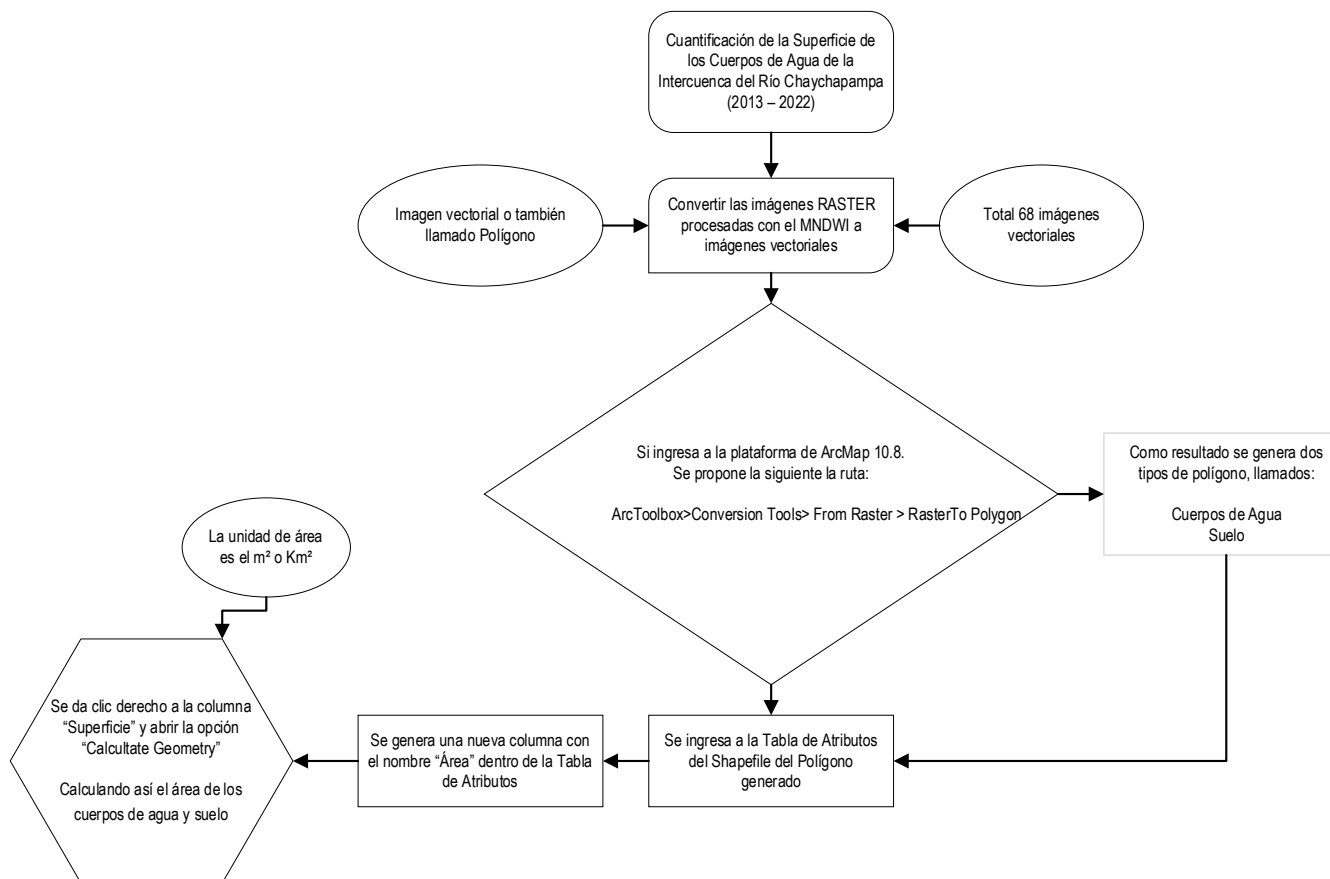


Figura 6: Determinación de área de estudio para bandas procesadas en LANDSAT 8

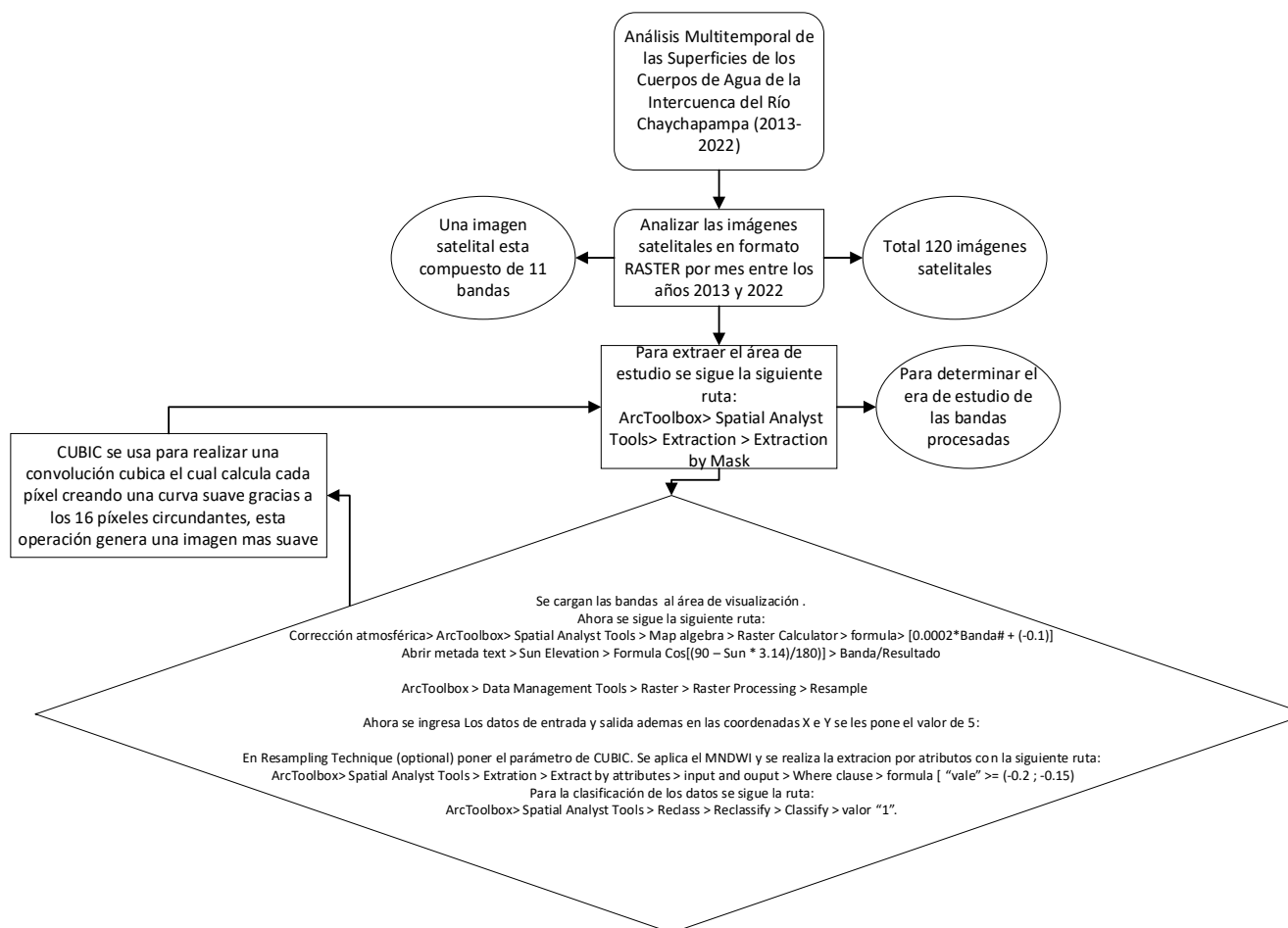


Figura 7: Cuantificación de la superficie (área) total de los cuerpos de agua

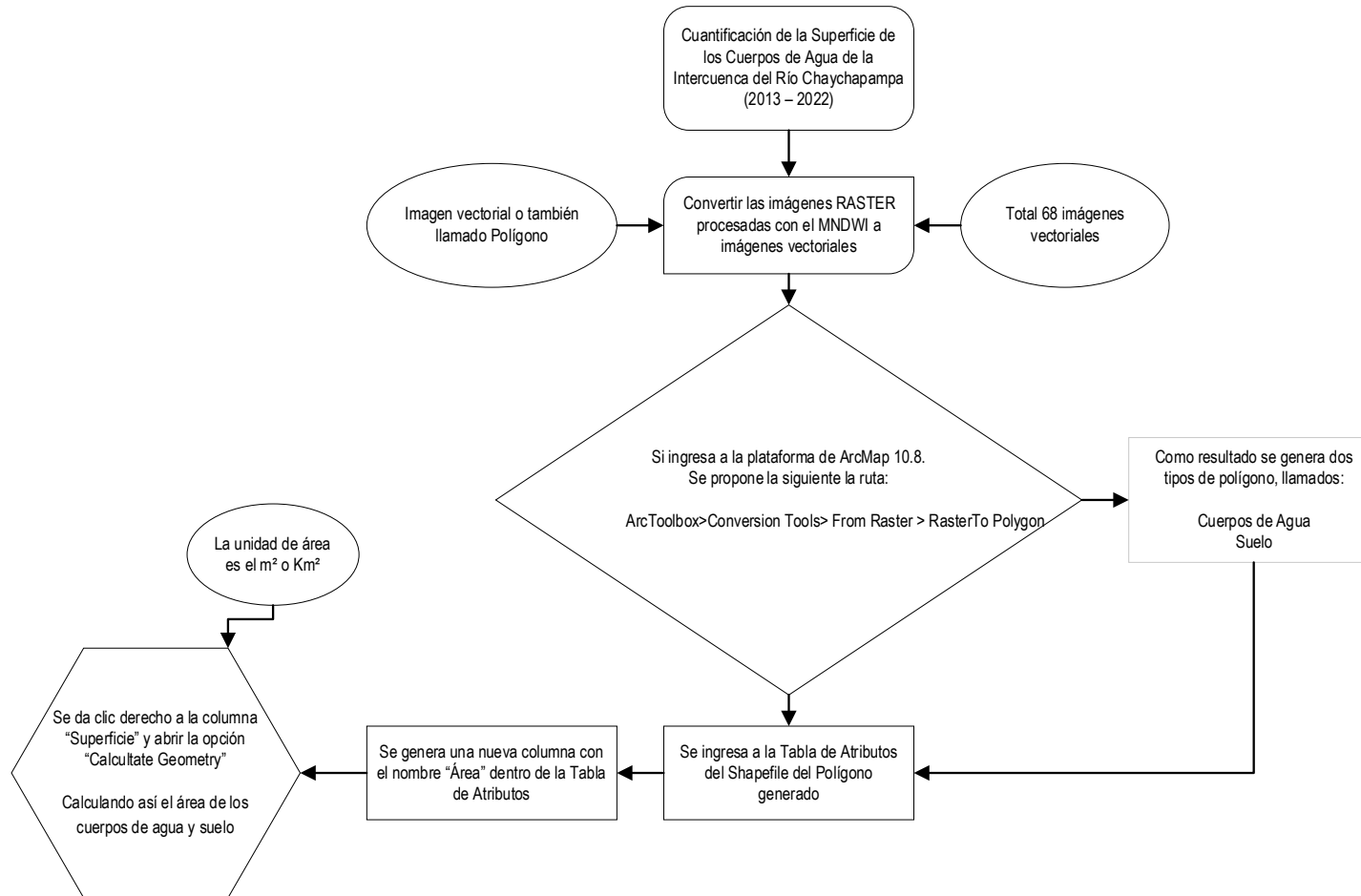
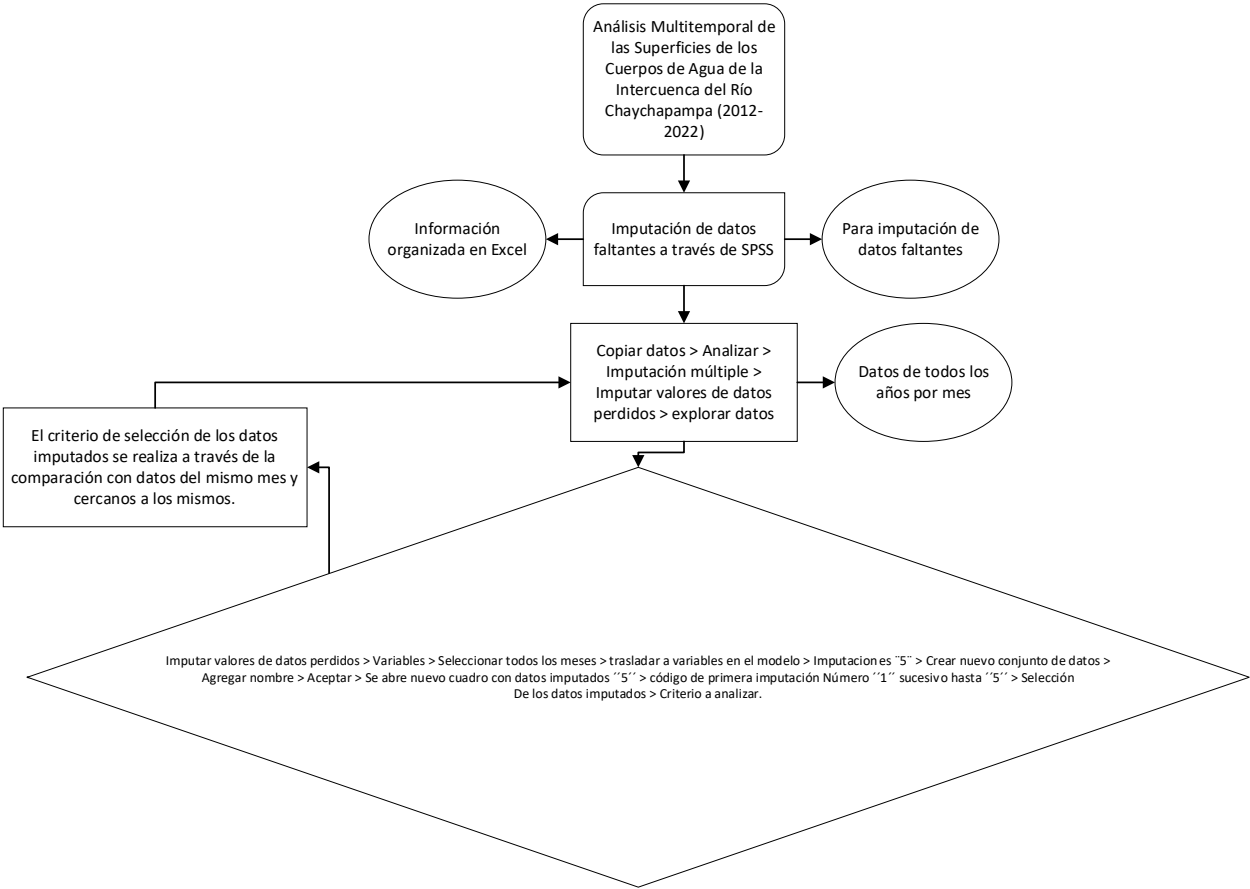


Figura 8: Imputación de datos



3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

La población delimitada en la presente investigación es la Intercuenca del río Chaychapampa, localizada en el distrito de Velille, Chumbivilcas, Cusco; esta abarca cuerpos de agua lénticos como lóticos.

3.3.2. Muestra

El tipo de muestreo usado para la presente investigación es el de tipo no probabilístico por conveniencia, esto fundamentado por un oportuno acomodamiento y contigüidad de estos con el investigador. En base a esto la muestra serán las 68 imágenes satelitales recopiladas desde el año 2013 al 2022. (47), esto debido a la ausencia de imágenes por varios factores como es el caso de nubosidad y data no existente en ciertos meses por año, sobre todo en épocas de estiaje, las mismas que nos sirvieron de base para la consecuente generación de los 80 datos con los que se procedió a trabajar mediante un proceso de imputación de datos a través de un software estadístico SPSS.

3.4. Metodología de la experimentación

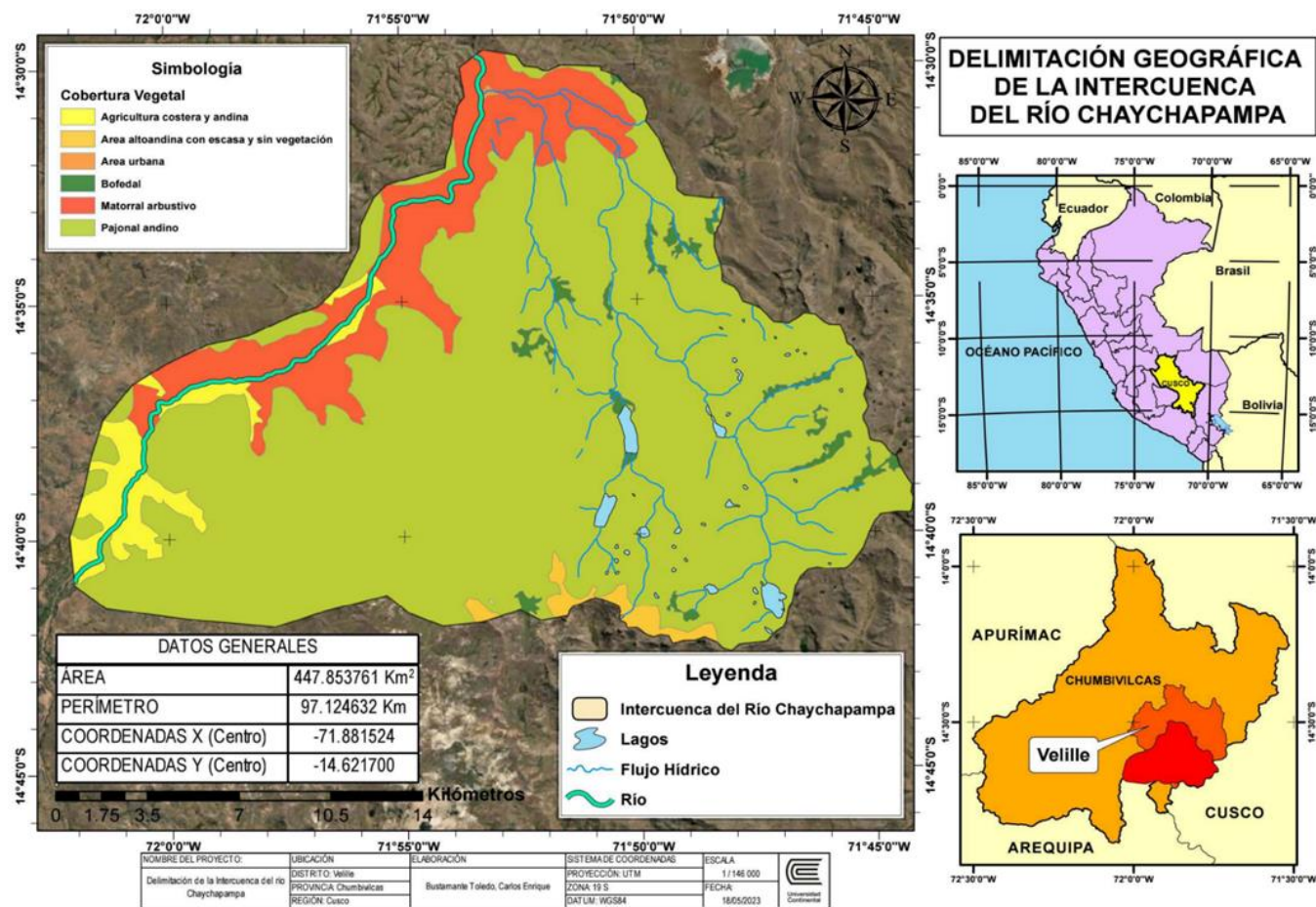
3.4.1. Ubicación geográfica

La Intercuenca del río Chaychapampa está establecido en el distrito de Velille, en la provincia de Chumbivilcas, en la región del Cusco. Tiene una forma ovalada fusiforme con una orografía empinada caracterizado por abundantes lagunas.

Sus nacientes entre los cerros Laclle Orco y Machaypata en la sección nombrada Loma Cochaccaytana, concurriendo sus aguas hacia la laguna Parihuana en dirección noroeste y de la laguna prosigue con el río Pampahuasi hasta la laguna Pumacocha, finalmente se conecta con el río Velille. (48)

- Altitud : 4662 m.s.n.m.
- Coordenadas UTM Norte : 8371998 a 8395204
- Coordenadas UTM Este : 168724 a 205328
- DATUM : WGS84
- Área : 240.1 Km²
- Longitud del río: 31.327 Km
- Pendiente : 3.03%

Figura 9: Delimitación Geográfica de la Intercuenca del río Chaychapampa



Fuente: Elaboración propia

3.4.2. Descripción geográfica

3.4.2.1. Relieve

La Intercuenca del río Chaychapampa presenta paisajes naturales influenciados por terrazas de cono de deyección en las laderas de las montañas, formando un relieve único en toda la zona de estudio.

Las características geomorfológicas son factores condicionantes y generan el contraste del relieve por el cambio de pendiente en los fondos de los valles con relieve montañoso y colinoso, generando así diferentes unidades geomorfológicas.

3.4.2.2. Clima

La geomorfología, conjuntamente con las variaciones climáticas como las precipitaciones pluviales, hidrografía e hidrología comprenden a ser los factores condicionantes de las superficies de cuerpos de agua.

Su clima es variado, se caracteriza por ser lluvioso semifrío y frío con invierno seco.

3.4.2.3. Actividad económica

Entre sus principales actividades económicas tenemos:

a) Agricultura.

La actividad predominante por parte de la población es la labranza de sus tierras para producir maíz, papa, cebada, trigo, habas, y otros cultivos menores, por otro lado, estos 5 productos anteriormente mencionados se representan como los más importantes ya que estos cubren el 90% de la superficie siendo: la papa con un 48.8% de la superficie; la cebada con un 16.7%, el maíz amiláceo con un 14.8%; así también tenemos otros dos de mayor relevancia como el trigo con un 8% y el haba con 5.4%.

La papa es el cultivo con mayor volumen de producción y por ende mayor superficie abarca en sus tierras, la producción que se tiene es de autoconsumo y el excedente pasa a su comercialización en las ferias distritales.

b) Ganadería.

El gran potencial de la zona está en la crianza de ovinos y vacunos si bien es cierto Velille se encuentra en el tercer lugar con 16.9% de la crianza de los mismos en Chumbivilcas el primer lugar lo ocupa el distrito de Santo Tomas con el 30% del total de la crianza de estos animales, el segundo distrito es Livitaca con 20.9%.

c) Minería.

La actividad minera en la zona se desarrolla de 2 maneras, siendo una de ellas las empresas mineras que realizan la explotación a gran escala y la otra por mineros artesanales que la realizan a menor escala

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Análisis de los datos obtenidos

El análisis realizado a través de los sistemas de información geográfica (SIG) se ha podido identificar la variación de la superficie en los cuerpos de agua en el tiempo de la Intercuenca del río Chaychapampa, de manera que se puede visualizar las variaciones de la superficie cada año en los diferentes meses, estos estudios permitieron demostrar la dinámica y evolución de las mismas.

La información obtenida mediante 2 plataformas, la plataforma USGS (Servicio Geológico de los Estados Unidos) así como la plataforma Copernicus (Programa de unión europea de observación y monitorización de la tierra) dedicado al análisis del planeta tierra, como de su medio ambiente. Ambas dedicadas a proporcionar información de mapas satelitales permitieron realizar el análisis de nuestros cuerpos de agua desde 2013 hasta el 2022, en la cual procesamos imágenes de mes a mes para determinar un patrón de retroceso de la superficie acuática en la zona de estudio que es la Intercuenca del río Chaychapampa, distrito de Velille, Chumbivilcas, cusco.

Los cuerpos de agua de nuestra área de estudio poseen una superficie aproximada de 4 754 839.32 m^2 entre abril y noviembre en el 2013 como año inicial de análisis en cuanto respecta al 2022 como ultimo de estudio se muestra una disminución que corresponde a 3 820 634.76 m^2 entre los mismos meses de estudio, esto nos muestra una disminución de 934 204.56 m^2 a continuación se muestra una tabla con un extracto de los datos mencionados anteriormente.

Tabla 3: Comparativa de área en los años 2013 y 2022

INTERCUENCA DEL RIO CHAYCHAPAMPA 2013			
Área	Km^2	m^2	Ha
	4.75483932	4 754 839.32	475.483932
INTERCUENCA DEL RIO CHAYCHAPAMPA 2022			
Área	Km^2	m^2	Ha
	3.82063476	3 820 634.76	382.063476

Fuente: Elaboración propia

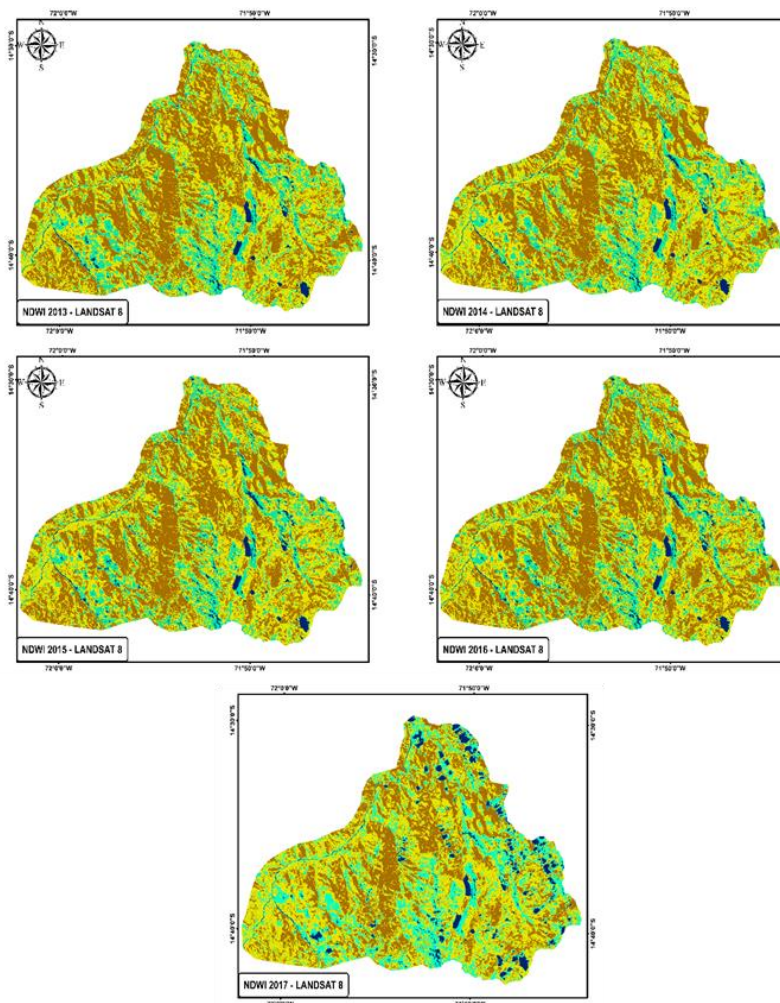
4.2. Análisis visual y especificaciones generales.

4.2.1. Distribución espacio temporal mediante NDWI de la Intercuenca del Rio Chaychapampa

4.2.1.1. Distribución espacio temporal con imágenes satelitales de Landsat 8

Distribución espacial y temporal de la superficie de los cuerpos acuáticos de la Intercuenca del rio Chaychapampa mediante el NDWI en imágenes satelitales Landsat 8 en la Intercuenca desde el año 2013 al 2017, se detallan a continuación en la Figura 4, cuyo procesamiento se realizó con el software Arc GIS, en donde se observan mapas anuales del comportamiento espacial y temporal de la superficie de los cuerpos acuáticos, obtenida a partir de los valores de $NDWI < 0,5$.

Figura 10: Distribución espacial y temporal de la superficie de los cuerpos acuáticos de la Intercuenca del rio Chaychapampa mediante el NDWI en imágenes satelitales Landsat 8

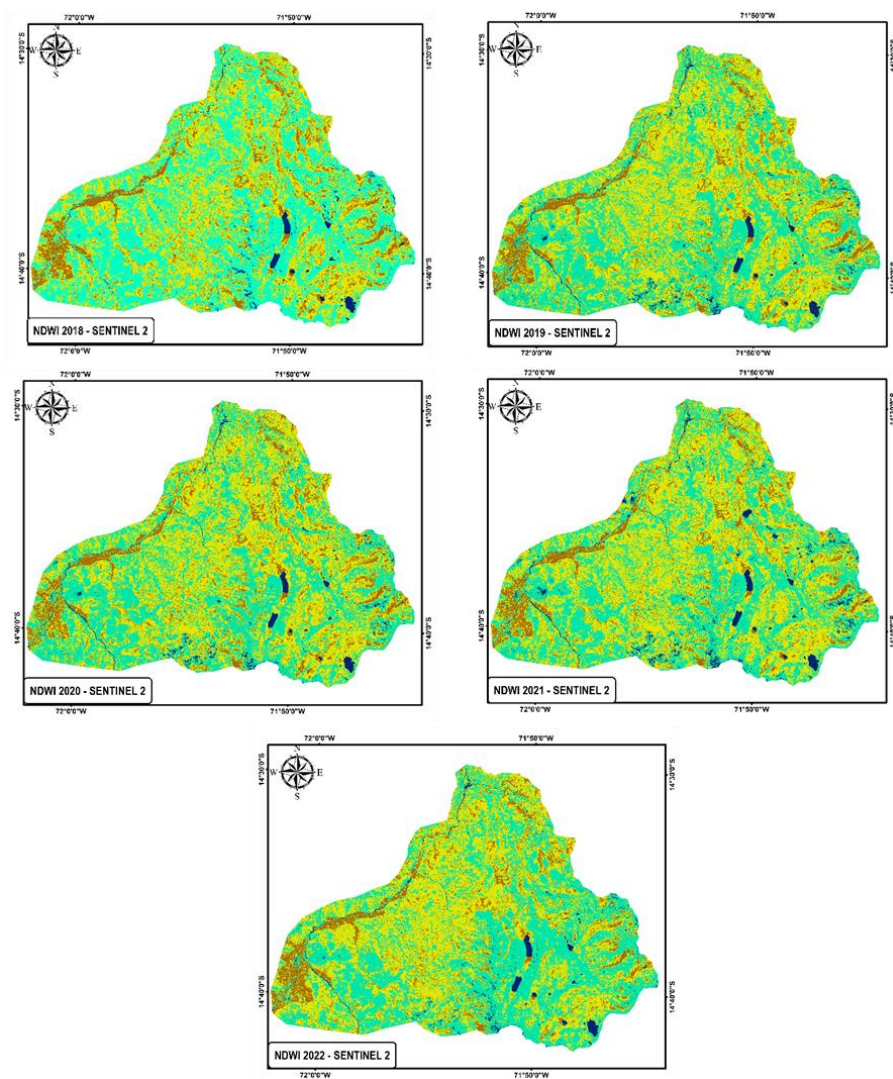


Fuente: Elaboración propia

4.2.1.2. Distribución espacio temporal con imágenes satelitales de Sentinel 2

Distribución espacial y temporal de la superficie de los cuerpos acuáticos de la Intercuenca del río Chaychapampa mediante el NDWI en imágenes satelitales Sentinel 2 en la microcuenca desde el año 2018 al 2022, se detallan a continuación en la Figura 5, cuyo procesamiento se realizó con el software Arc GIS, en donde se observan mapas anuales del comportamiento espacial y temporal de la superficie de los cuerpos acuáticos, obtenida a partir de los valores de $NDWI < 0,5$.

Figura 11: Distribución espacial y temporal de la superficie de los cuerpos acuáticos de la Intercuenca del río Chaychapampa mediante el NDWI en imágenes satelitales Sentinel 2



Fuente: Elaboración propia

A. Comparativa de la superficie de los cuerpos acuáticos representativos

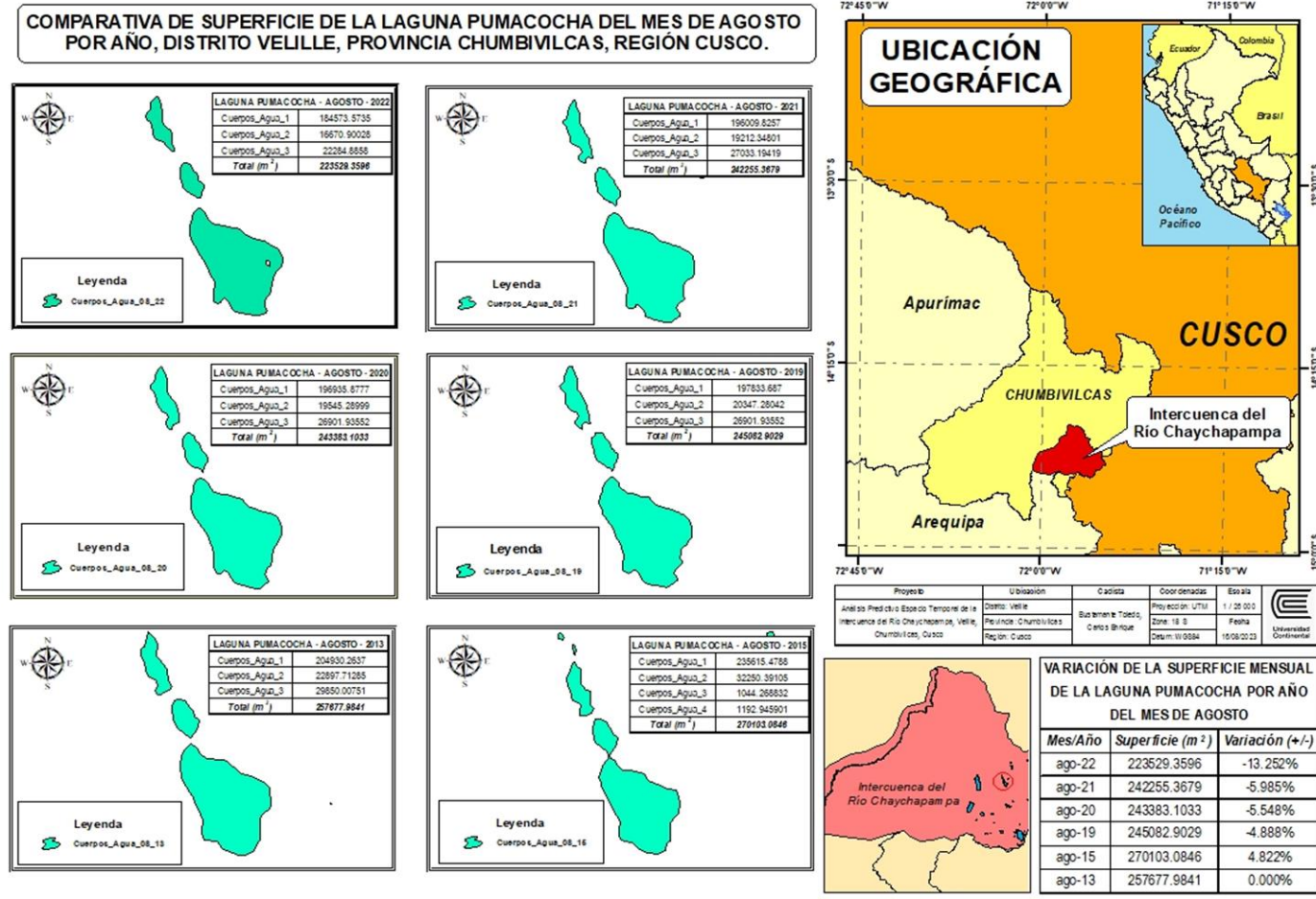
Al realizar un análisis mediante la data de fechas de manera sucesiva se logra apreciar que ciertos cuerpos de agua de carácter permanente como pequeñas lagunas presentaron disminución en su superficie a ser observados de manera significativa, incluso algunos cuerpos de agua desaparecen de las imágenes durante ciertos meses, la Intercuenca del río de Chaychapampa es el único cuerpo de agua que prevalece debido a sus dimensiones de gran colector pero a lo largo de los meses también se logra percibir disminución en sus riberas.

Sin embargo, el análisis anual detalla y apunta hacia la reducción de la superficie de los cuerpos de agua indicando que los primeros años entre 2013 hasta el 2015 se observan mayor superficie que a medida que avanza en los últimos años ya no se perciben o desaparecen por completo.

B. Comparativa de superficie de la laguna Pumacocha

En el 2013 la laguna de Pumacocha está constituida por 3 cuerpos de agua haciendo un total de 257 877.9841 m², por otro lado en el 2015 se permite visualizar que logra aumentar en dimensiones esto gracias a las condiciones meteorológicas de la zona resaltando que dos cuerpos de agua en el 2013 solían ser distantes se muestran unidos, además se puede apreciar que nacen otros 2 cuerpos de agua cada uno con 1000 metros cuadrados de superficie aproximadamente y como es debido la superficie total va en aumento con un total de 270 103.0848 m² logrando un aumento de 12225.1007 m² con respecto al 2013. Con respecto al 2019 en el mismo mes de agosto se muestra nuevamente 3 cuerpos de agua y es aquí donde muestra una disminución muy considerable en comparación del 2015 dando una superficie total de 245 082.9029 m² es así que muestra una pérdida de superficie de 25 020.1819 m². En el 2021 la laguna de Pumacocha presenta nuevamente una grave reducción de superficie con un total de 242 255.3679 m² podemos destacar que desde el 2015 la laguna solo ha desarrollado una reducción en su superficie y en el último año de estudio 2022 una vez más la laguna no ha podido recuperar superficie si no que al contrario en el cuerpo de agua de mayor proporción empieza a mostrar una pequeña superficie de suelo sin cobertura acuática y la laguna en análisis nos da el valor más bajo registrado en la comparativa con 223 529.3596 m² y al apoyarnos con la tabla de variaciones notamos que experimenta un -13.252% de reducción en comparación con nuestro primer año de estudio del 2013 en el mes de agosto a continuación se muestra la evolución de la laguna Pumacocha y sus variaciones.

Figura 12: Comparativa de superficie de la laguna Pumacocha del mes de agosto por año.

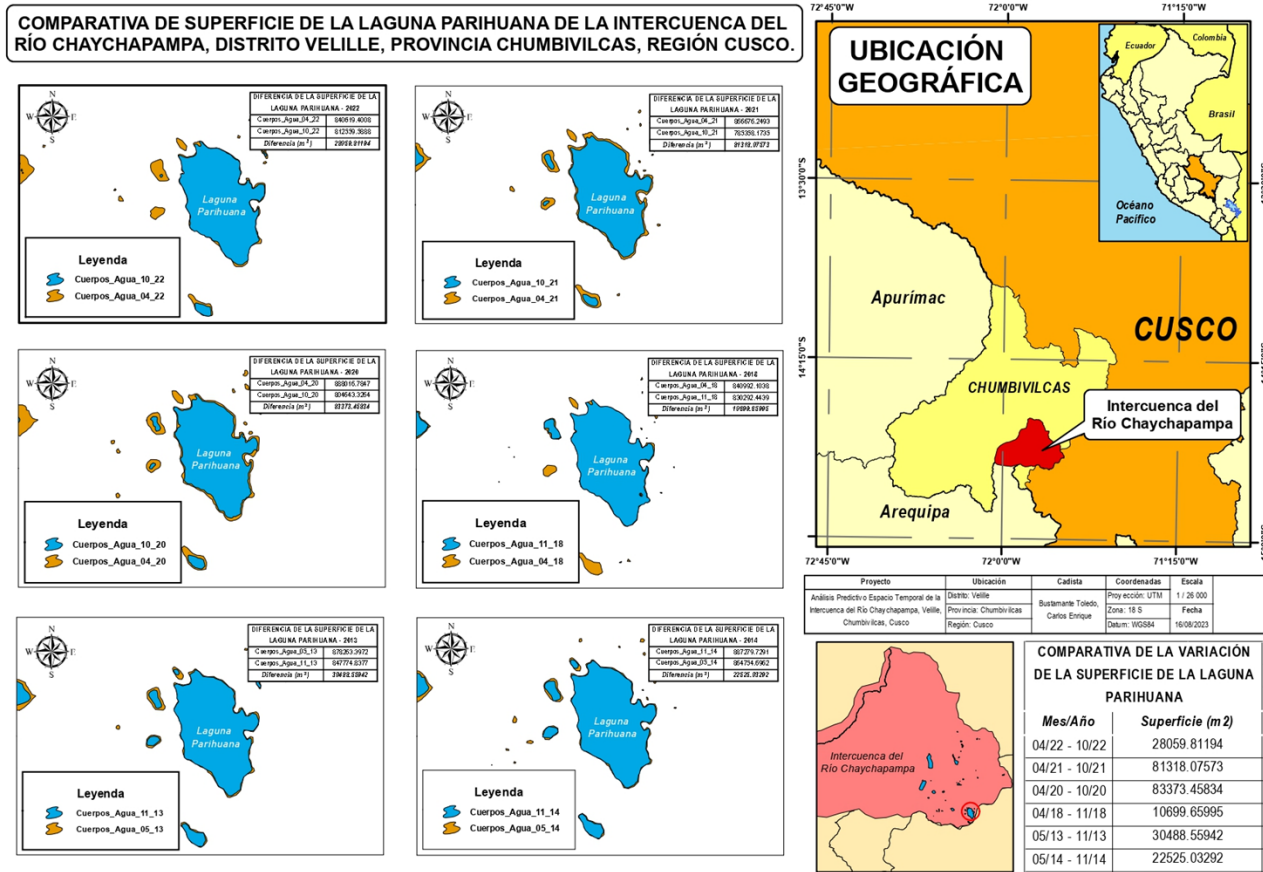


Fuente: Elaboración propia

C. Comparativa de superficie de la laguna Parihuana

Por otro lado al realizar la comparativa de la superficie de la laguna Parihuana de la Intercuenca del río Chaychapampa en los años 2013, 2014, 2018, 2020, 2021 y 2022 en el cual se muestran las variaciones con respecto a un mismo año pero en dos meses diferentes es así que en el 2013 se permite la comparación de manera visual, siendo más notorio con los pequeños cuerpos de agua que la rodea el cual se muestra el cambio sin embargo en la laguna se muestra una variación del 3.47% igual a 30 488.5595 m² de diferencia, para el 2014 de igual forma solo se logra ver un cambio de 2.60% o su equivalente de 22 525.0929 m² de superficie y para el 2018 el porcentaje de variación sería del 1.27% en términos de superficie es igual a 10 699.660 m², pero en el 2020 se logra apreciar una variación en la orilla de la laguna Parihuana con un 9.39% de reducción o de 83 373.458 m² con mayor porcentaje de pérdida sin embargo para el 2021 realizando la comparativa se reduce en un 9.61% da un valor de 83 318.076 m² siendo este el año con mayor reducción entre los años de análisis es entonces que en el 2022 la reducción en la laguna vuelve a presentar un porcentaje bajo con 3.33% o de 28 059.812 m² así como se muestra en la siguiente Figura.

Figura 13: Comparativa de la superficie de la laguna Parihuana.



Fuente: Elaboración propia

D. 1.2.3. Comparativa de superficie de las lagunas Orccococha y Querquecocha

Por otro lado, se realizó la comparativa de la variación de la superficie de la laguna Orccococha y Querquecocha entre los años 2013 y 2014, 2015 y 2016, 2017 y 2018, 2019 y 2020, 2021 y 2022 y por último entre 2013 y 2022 siendo el año de inicio de estudio y el año límite de nuestro estudio.

En el intervalo de 2013 y 2014 en el mes de agosto se logra visualizar una pequeña variación del 0.25% de incremento siendo su equivalente a 1 600.105 m² para la laguna de Orccococha mientras que la laguna Tacracocha logra mantenerse sin cambios notorios reflejando números positivos en la comparación.

En el intervalo del 2015 y 2016 logra experimentar una reducción notoria de sus orillas en la laguna Orccococha con una variación de 17.13% siendo igual a 110 210.843 m² para el mes de agosto de esos años siendo en este intervalo la primera en presentar números negativos.

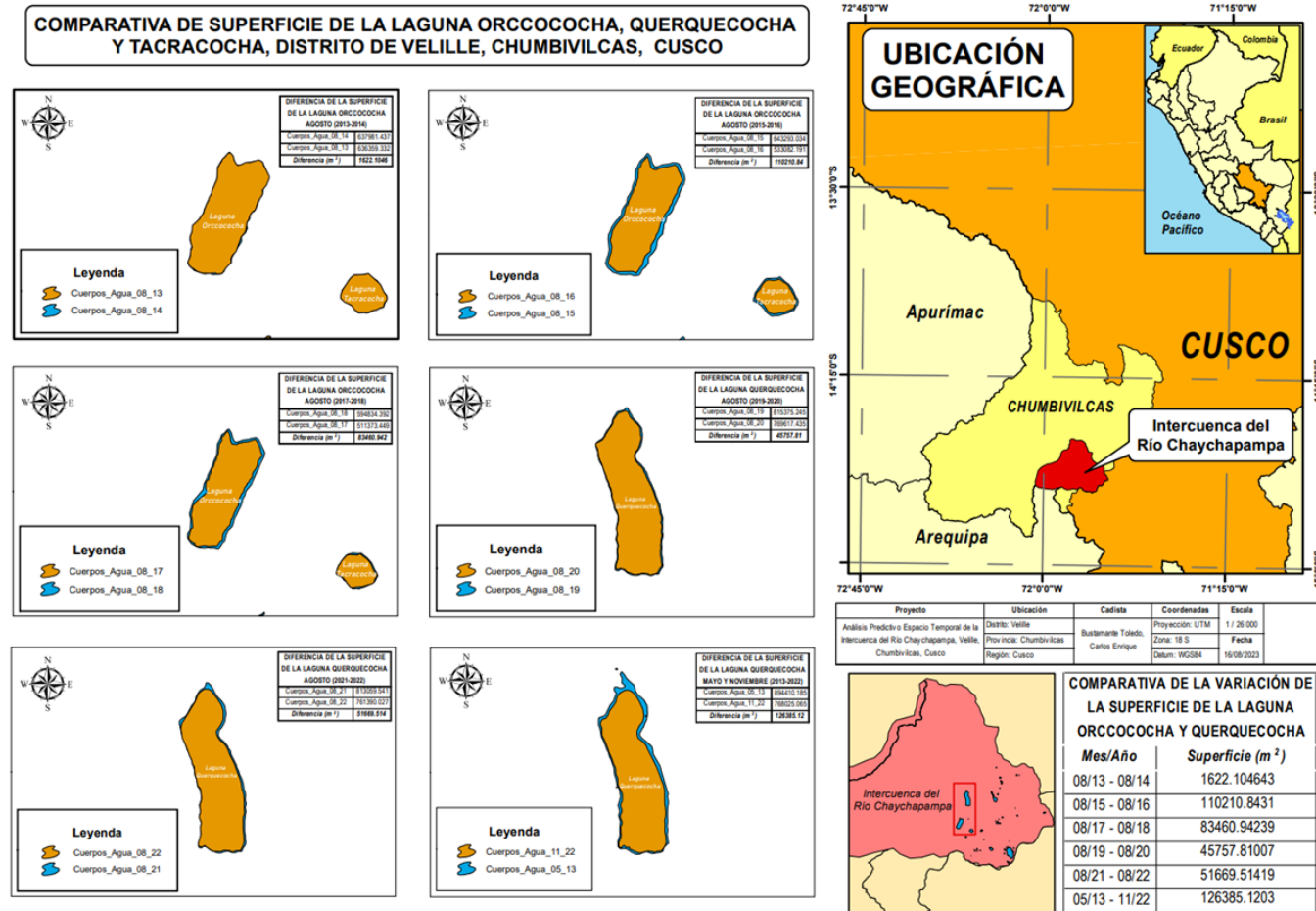
Es así que en la laguna Orccococha en el intervalo de 2017 y 2018 en el mes de agosto se logra apreciar un incremento en sus orillas con un porcentaje de 16.32% o siendo este positivo para el cuerpo de agua con 83 460.943 m² de equivalencia.

Por otro lado, en la laguna de Querquecocha entre los años 2019 y 2020 para el mes de agosto se muestra con una reducción de sus orillas en un porcentaje de 5.61% el cual es notorio de manera visual en metros cuadrados es de 45 757.81 m².

Para el intervalo de 2021 y 2022 en el mes de agosto de la laguna de Querquecocha se presentó nuevamente una reducción del 6.35% lo cual es visible muy fácilmente en la Figura siendo su diferencia equivalente de 51 669.514 m².

Por último, se realizó una comparación entre los años 2013 y 2022 en la laguna de Querquecocha en el cual demuestra una reducción con una pérdida total de 15.25% en sus orillas siendo visible significativamente con un valor de 126 385.12 m² a continuación se muestra la siguiente Figura que plasma los resultados.

Figura 14: Comparativa de superficie de la laguna Orccococha, Querquecocha y Tacracocha



Fuente: Elaboración propia

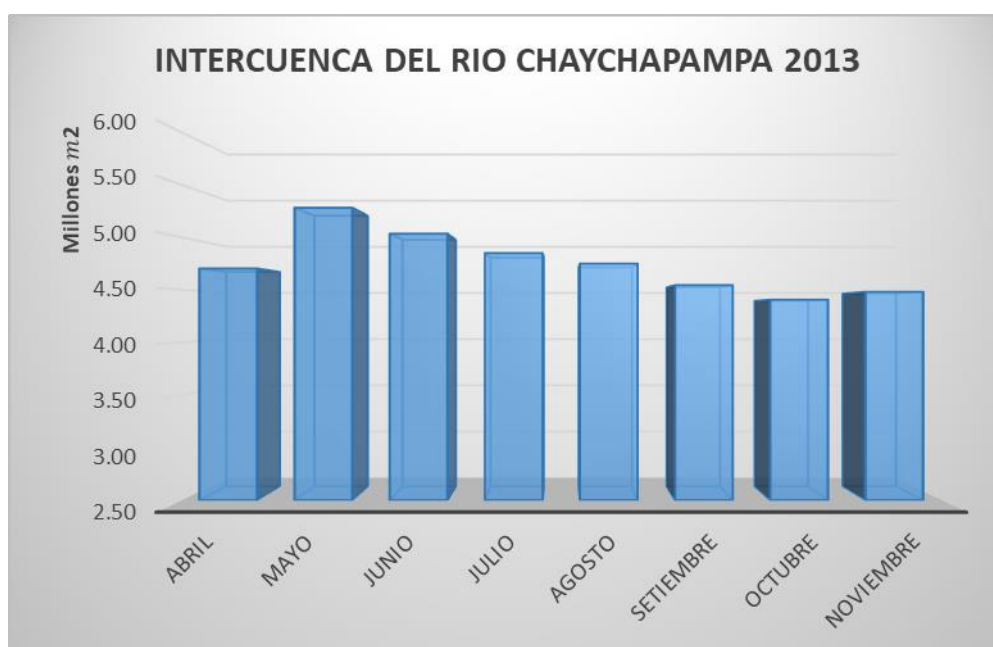
4.3. Alteración de la superficie de los cuerpos de agua.

4.3.1. Variación mensual por cada año de la superficie de los cuerpos de agua.

4.3.1.1. Variación mensual de la superficie de los cuerpos de agua - año 2013

Es así que podemos presentar los datos obtenidos de la superficie de los cuerpos de agua en la Intercuenca del río Chaychapampa de mes a mes con un área promedio de $4\,754\,839.32\ m^2$ con un valor máximo en área de $5\,278\,590.54\ m^2$ en el mes de mayo y un valor mínimo en el mes de octubre con $4\,405\,756.33\ m^2$ de esta manera hallamos un rango comprendido entre los meses indicados anteriormente de $872\,834.21\ m^2$ para el año 2013.

Figura 15: Comparativa de la superficie en m^2 de los cuerpos de agua de la Intercuenca del río Chaychapampa por meses en el año 2013

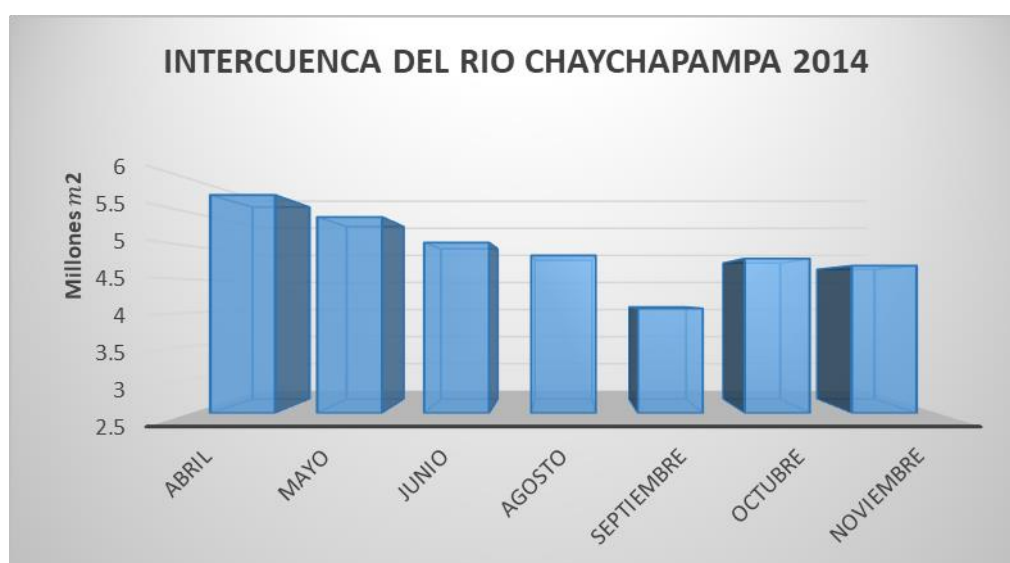


Fuente : Elaboración propia

4.3.1.2. Variación mensual de la superficie de los cuerpos de agua - año 2014

De la misma forma para el año 2014 podemos presentar los datos obtenidos de la superficie de los cuerpos de agua en la Intercuenca del río Chaychapampa de los meses de abril a noviembre con un área promedio de $4\,938\,280.05\text{ m}^2$ con un valor máximo en área de $5\,757\,196.99\text{ m}^2$ en el mes de abril y un valor mínimo en el mes de septiembre de $4\,064\,079.84\text{ m}^2$ de esta manera hallamos un rango entre el valor máximo y el valor mínimo correspondiente con un valor de $874\,200.21\text{ m}^2$ en el año 2014.

Figura 16: Comparativa de la superficie en m^2 de los cuerpos de agua de la Intercuenca del río Chaychapampa por meses en el año 2014

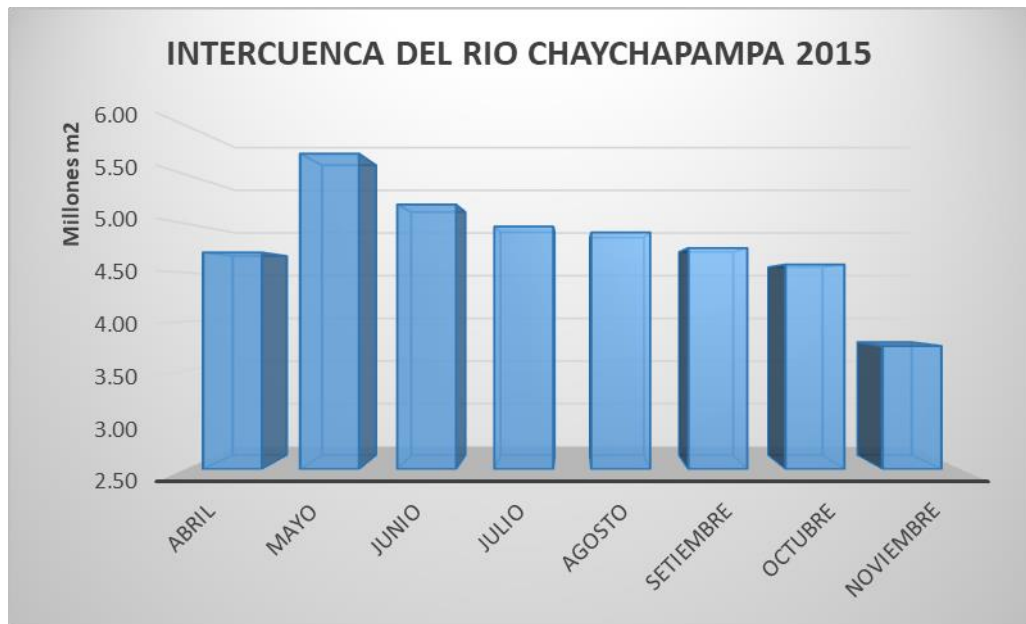


Fuente : Elaboración propia

4.3.1.3. Variación mensual de la superficie de los cuerpos de agua - año 2015

De tal forma para el año 2015 se presentan los siguientes resultados con respecto a la superficie de los cuerpos de agua en la Intercuenca del río Chaychapampa de los meses comprendidos entre junio hasta el mes de noviembre se obtuvo con un área promedio de $4\,818\,914.67\text{ m}^2$ con un valor máximo en área de $5\,706\,504.57\text{ m}^2$ en el mes de junio y un valor mínimo de $3\,751\,879.66\text{ m}^2$ en el mes de octubre de esta manera hallamos un rango entre el valor máximo correspondiente y el valor mínimo de $1\,954\,624.91\text{ m}^2$ en el año 2015 se presenta el gráfico 3.

Figura 17: Comparativa de la superficie en m^2 de los cuerpos de agua de la Intercuenca del río Chaychapampa por meses en el año 2015

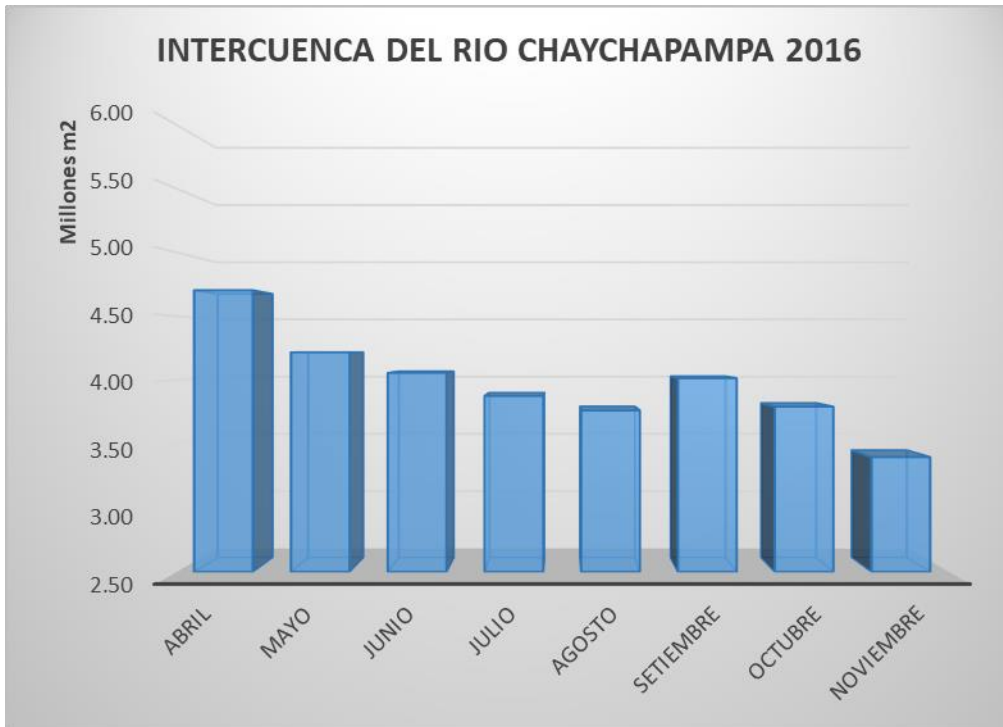


Fuente : Elaboración propia

4.3.1.4. Variación mensual de la superficie de los cuerpos de agua - año 2016

Para el año 2016 los datos obtenidos de la superficie de los cuerpos de agua en la Intercuenca del río Chaychapampa que obtuvimos de los meses entre mayo y noviembre se pudo obtener un área promedio de $3\,976\,989.40\ m^2$ de manera que con un valor máximo en área de $4\,701\,519.99\ m^2$ en el mes de abril y un valor mínimo de $3\,397\,401.34\ m^2$ en el mes de noviembre de esta manera hallamos un rango entre el valor máximo correspondiente al mes de mayo y el valor mínimo correspondiente al mes de noviembre con un valor de $1\,304\,118.65\ m^2$ en el año 2016.

Figura 18: Comparativa de la superficie en m^2 de los cuerpos de agua de la Intercuenca del río Chaychapampa por meses en el año 2016

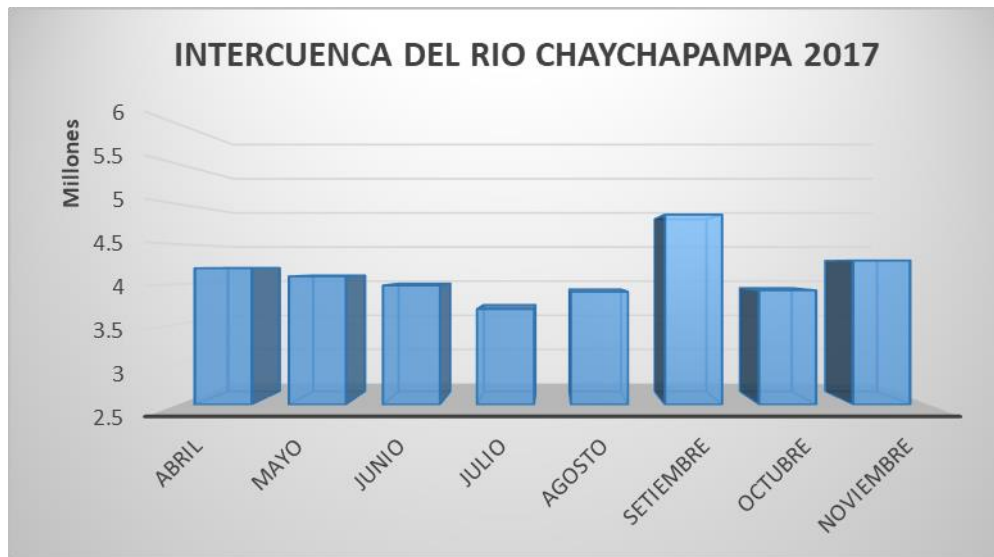


Fuente : Elaboración propia

4.3.1.5. Variación mensual de la superficie de los cuerpos de agua - año 2017

Por otro lado, el 2017 en el análisis de la superficie de los cuerpos de agua en la Intercuenca del río Chaychapampa del mes de abril a noviembre con un área promedio de 4 119 608.56 con un valor máximo en área de 4 864 800.85 m^2 en el mes de septiembre y un valor mínimo de 3 690 910.94 m^2 en el mes de julio de esta manera hallamos un rango entre el valor máximo correspondiente y el valor mínimo de 1,173,889.91 m^2 en el año 2017.

Figura 19: Comparativa de la superficie en m^2 de los cuerpos de agua de la Intercuenca del río Chaychapampa por meses en el año 2017

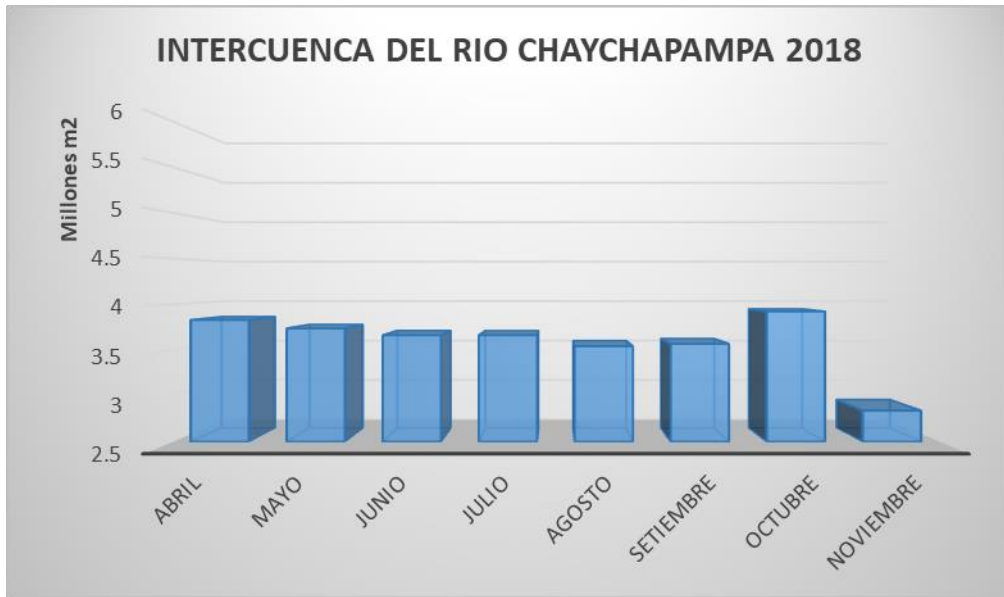


Fuente : Elaboración propia

4.3.1.6. Variación mensual de la superficie de los cuerpos de agua - año 2018

Por otro lado para el 2018 con respecto a la superficie de los cuerpos de agua de la Intercuenca del río Chaychapampa medidos entre los meses de abril a noviembre, es así que podemos presentar los datos obtenidos con un área promedio de 3 595 679.49 m^2 con un valor máximo en área de 3 921 985.42 m^2 en el mes de octubre y un valor mínimo de 2 840 531.59 m^2 en el mes de noviembre siendo este el mes con la cobertura más baja en todos los años de estudio de esta manera hallamos un rango entre el valor máximo y el valor mínimo con un valor de 1 081 453.83 m^2 en el año 2018 a continuación se presenta la figura 6 con los datos expresados.

Figura 20: Comparativa de la superficie en m^2 de los cuerpos de agua de la Intercuenca del río Chaychapampa por meses en el año 2018

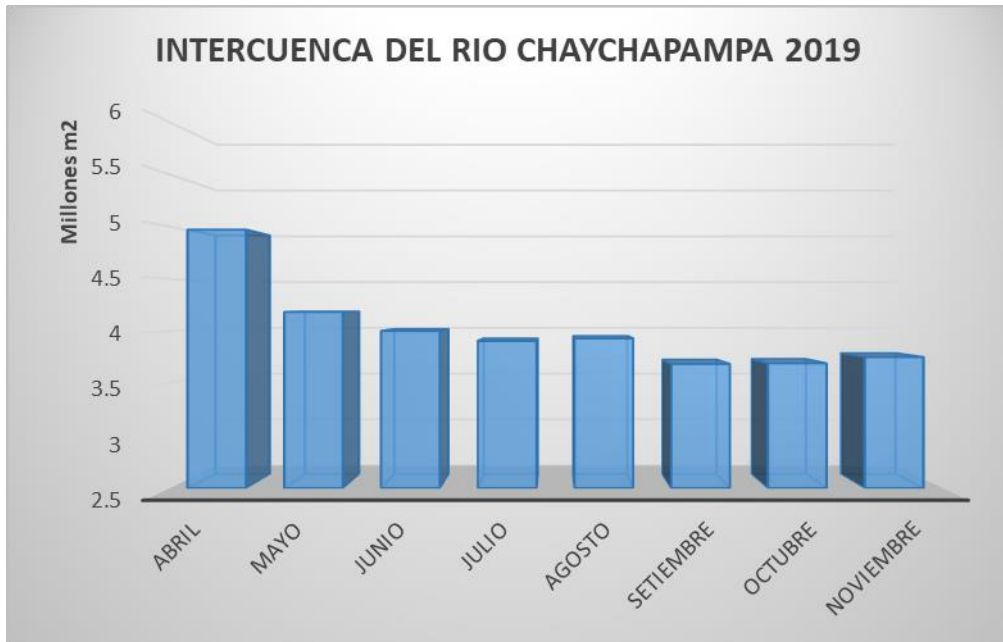


Fuente : Elaboración propia

4.3.1.7. Variación mensual de la superficie de los cuerpos de agua - año 2019

Para el año 2019 a través de los datos obtenidos sobre la superficie de los cuerpos de agua con un área promedio de 4 014 815.53 m^2 comprendidos entre los meses de abril hasta noviembre, con un valor máximo en área de 4 968 887.64 m^2 en el mes de abril y un valor mínimo de 3 685 703.49 m^2 en el mes de septiembre de esta manera hallamos un rango entre el valor máximo y mínimo 1 283 184.15 m^2 para el año 2019.

Figura 21: Comparativa de la superficie en m^2 de los cuerpos de agua de la Intercuenca del río Chaychapampa por meses en el año 2019

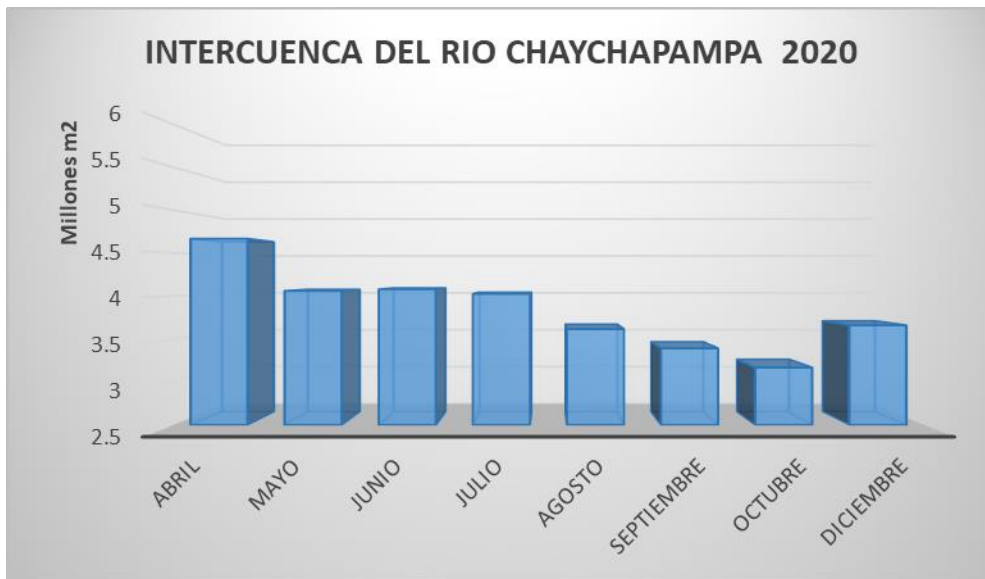


Fuente : Elaboración propia

4.3.1.8. Variación mensual de la superficie de los cuerpos de agua - año 2020

De tal modo podemos presentar los datos obtenidos de la superficie de los cuerpos de agua en la Intercuenca del de río Chaychapampa entre abril a noviembre en el 2020 con un área promedio de 3 832 235.84 m^2 con un valor máximo en área de 4 664 680.53 m^2 en el mes de abril y un valor mínimo de 3 168 166.18 m^2 en el mes de octubre de esta manera hallamos un rango entre el valor máximo correspondiente al mes de abril y el valor mínimo correspondiente con un valor de 1 496 514.35 m^2 en el año 2020 es así que se presenta el siguiente Figura.

Figura 22: Comparativa de la superficie en m^2 de los cuerpos de agua de la Intercuenca del río Chaychapampa por meses en el año 2020

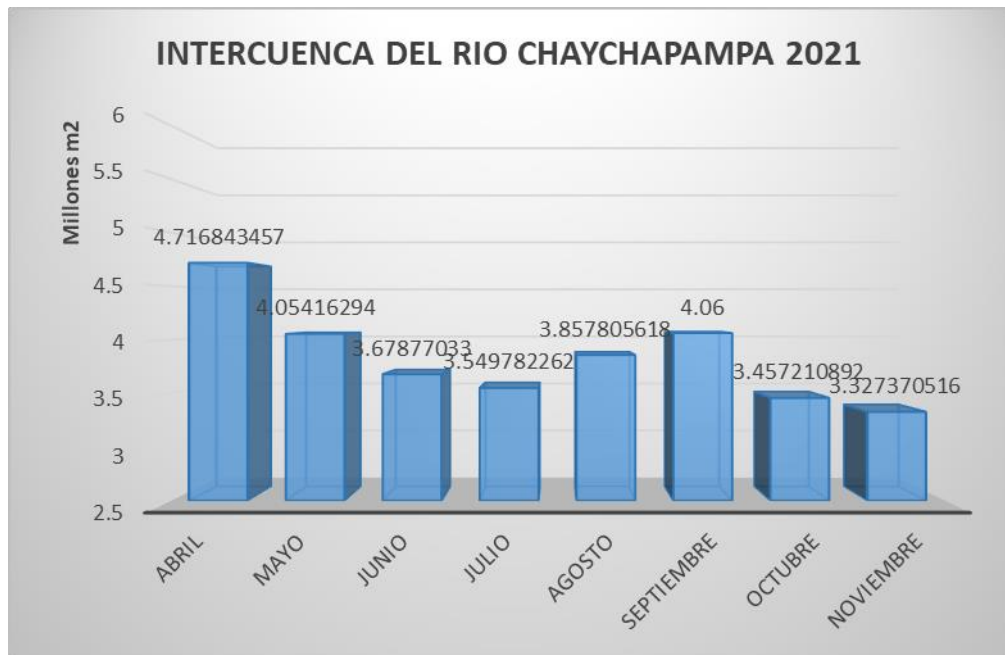


Fuente : Elaboración propia

4.3.1.9. Variación mensual de la superficie de los cuerpos de agua - año 2021

A continuación, para el 2021 podemos presentar los datos obtenidos de la cobertura de los cuerpos de agua en la Intercuenca del de río Chaychapampa de los meses entre abril y noviembre con un área promedio de 3 838 039.89 m^2 con un valor máximo en área de 4 716 843.46 m^2 en el mes de abril y un valor mínimo de 3 327 370.52 m^2 en el mes de noviembre de esta manera hallamos un rango entre el valor máximo y el valor mínimo con un valor de 1 389 472.94 m^2 en el año 2021.

Figura 23: Comparativa de la superficie en m^2 de los cuerpos de agua de la Intercuenca del río Chaychapampa por meses en el año 2021

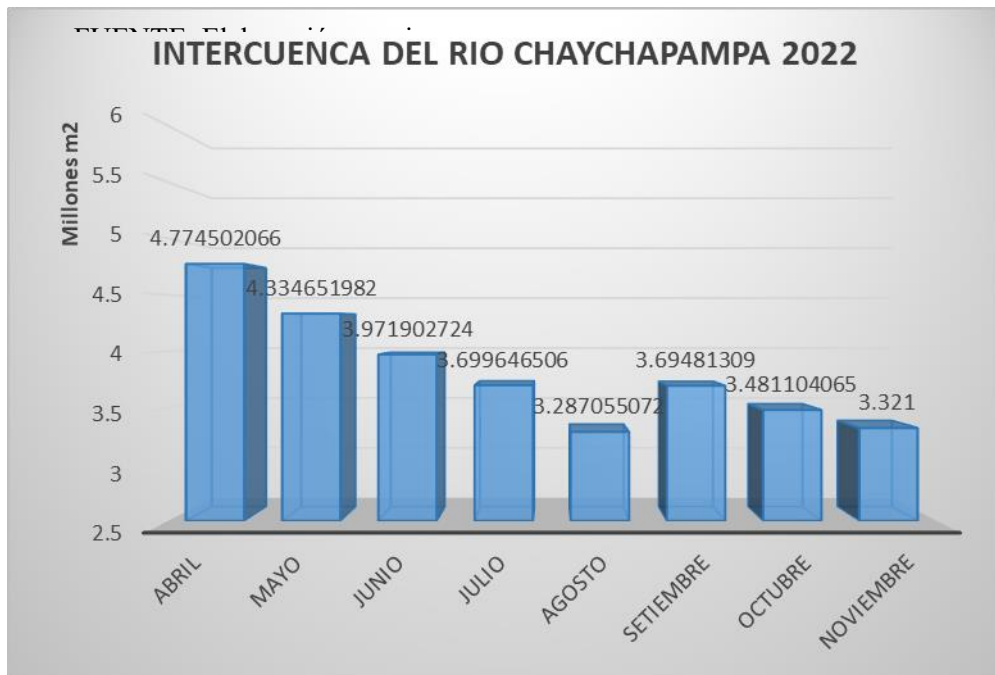


Fuente : Elaboración propia

4.3.1.10. Variación mensual de la superficie de los cuerpos de agua - año 2022

Para el último año de estudio siendo este el 2022 podemos presentar los datos obtenidos de la cobertura de los cuerpos de agua en la Intercuenca del de río Chaychapampa de los meses entre abril y noviembre con un área promedio de 3 820 634.76 m^2 con un valor máximo en área de 4 774 502.07 m^2 siendo este en el mes de abril y un valor mínimo de 3 287 055.07 m^2 en el mes de agosto de esta manera hallamos un rango entre el valor máximo y el valor mínimo correspondiente con un valor de 1 487 446.99 m^2 en el año 2022.

Figura 24: Comparativa de la superficie en m^2 de los cuerpos de agua de la Intercuenca del río Chaychapampa por meses en el año 2022



Fuente : Elaboración propia

4.3.2. Variación anual desde 2013 hasta el 2022 en el área de estudio.

Por consiguiente, se muestran los datos obtenidos de la variación año a año de la superficie de los cuerpos de agua en la Intercuenca del río Chaychapampa, distrito de Velille, Chumbivilcas, Cusco.

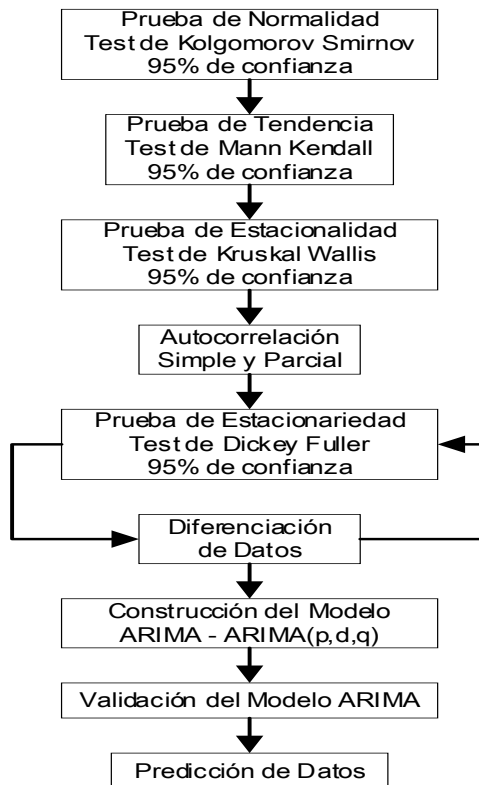
Se obtuvo un promedio de la superficie de los cuerpos de agua del área de estudio para los 10 años analizados se obtuvo como dato $4\,171\,003.75\ m^2$, siendo el valor de superficie máxima $5\,757\,197.00\ m^2$ para el año 2014 además de una cobertura mínima en el año 2018 con $2\,840\,531.59\ m^2$, es así que se presenta una diferencia de $1\,550\,752.22\ m^2$ en la siguiente grafica se muestra un resumen de todos los años y como han evolucionado en el intervalo de 10 años.

Figura 25: Comparativa de la superficie en m^2 de los cuerpos de agua de la Intercuenca del río Chaychapampa de los años de estudio desde 2013 hasta el 2022



Fuente : Elaboración propia

4.4. Formulación del modelo matemático y análisis predictivo para los años 2023 al 2025.



Para poder llevar a cabo nuestro proceso de validación estadística se tiene que trabajar en base de un intervalo de confianza para de esta manera aprobar dichos datos si sean confiables al momento de elaborar nuestro modelo predictivo, para ello en el proceso de nuestros distintos test de validación se trabajara con un intervalo de confianza del 95%.

Teóricamente el intervalo de confianza (IC) se va a construir mediante:

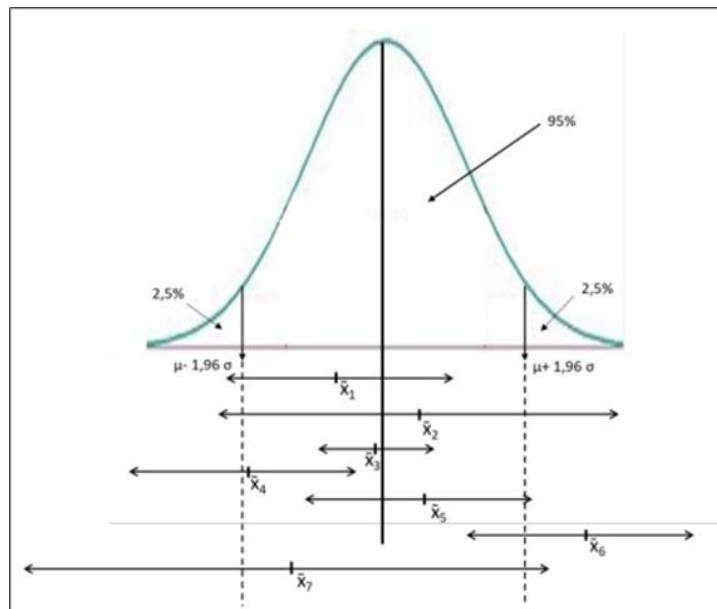
$$IC = (\bar{x} \pm z * EE)$$

Donde:

- **IC:** Intervalo de confianza
- **\bar{x} :** Media aritmética
- **Z:** Valor de confianza
- **EE:** Error estándar

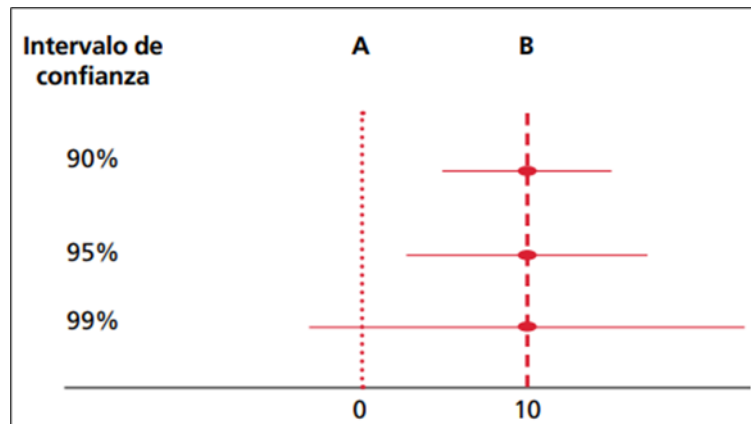
Tomando en cuenta en que, si el intervalo de confianza es más estricto, el ancho de los intervalos será mayor, otro factor es el campo de estudio el mismo que tiene gran influencia en la determinación del intervalo, la utilidad del IC es conocer el valor poblacional inaccesible, por ende, el margen de error es del 5%. (49)

Figura 26: Interpretación del nivel de confianza a partir del intervalo de la media en base a una distribución normal



Fuente: Ladislao P. (49)

Figura 27: Amplitud del intervalo de confianza respecto a A (Ho) y B (Estimación de diferencias encontradas).



Fuente: Ladislao P. (49)

4.4.1. Prueba de Normalidad – Test de Kolmogorov-Smirnov

El procedimiento Prueba de Kolmogórov-Smirnov para una muestra compara la función de distribución acumulada observada de una variable con una distribución teórica determinada, que puede ser la normal, la uniforme, la de Poisson o la exponencial.

Esta prueba es similar a la prueba de Shapiro-Wilk, pero la diferencia radica en el número de muestras. La prueba de Shapiro-Wilk se utiliza a lo mucho con 50 datos, la prueba de Kolmogorov-Smirnov se utiliza con más de 50 datos u observaciones. Aplicando la prueba de hipótesis a los datos de superficie mensual de cuerpos de agua, se tiene:

Contraste de Hipótesis:

Ho: Los datos de superficie de cuerpos de agua provienen de una distribución normal

Ha: Los datos de superficie de cuerpos de agua no provienen de una distribución normal

Nivel de Significancia:

El nivel de significancia que se trabajará es de $\alpha = 0.05$

Criterio de Decisión:

Si $P < \alpha$, se rechaza Ho

Si $P \geq \alpha$, no se rechaza Ho

Para ejecutar el test de Kolmogórov-Smirnov es necesario usar el siguiente comando:

ksmirnov "variable" = normal ((“variable” – “mean”) /Std. dev.)

Figura 28: Comando formulado para la Intercuenca del río Chaychapampa

```
ksmirnov Superficiem2 = normal(( Superficiem2-4171004)/616344.9)
```

Figura 29:Resultado de test Kolmogórov-Smirnov en STATA

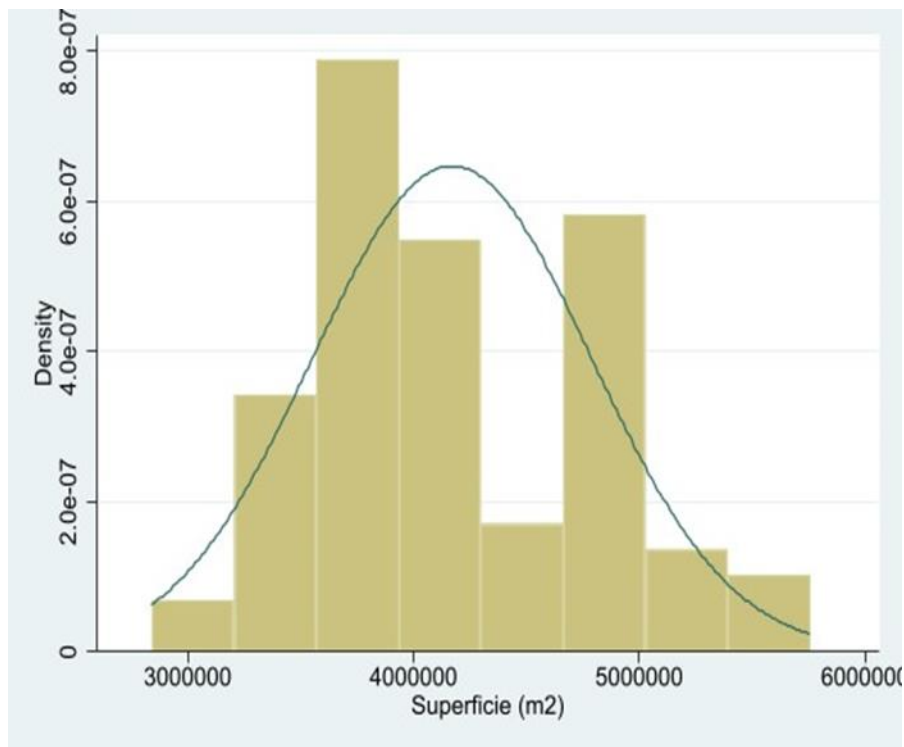
Smaller group	D	p-value
Superficiem2	0.1357	0.053
Cumulative	-0.0928	0.252
Combined K-S	0.1357	0.105

Fuente: Elaboración propia

Interpretación:

Como se observa, el valor de discrepancia $D = 0.1357$, es el valor absoluto de la discrepancia máxima entre la distribución observada y la teórica, con un $p-value = 0.053$, el cual es mayor que el nivel de significancia $\alpha = 0.05$, por lo que se concluye aceptar la hipótesis nula H_0 , lo cual significa que los datos de la superficie de cuerpos de agua provienen de una distribución normal.

Figura 30: Representación de la Distribución Normal obtenida



Fuente: Elaboración propia

4.4.2. Prueba de Tendencia – Test de Mann Kendall

Berger (1986) considera que el test de Mann Kendall es el método más apropiado para analizar tendencia en series climatológicas. También que este método permite detectar y localizar el punto aproximado de inicio de una determinada tendencia.

El test de Mann Kendall es un test no paramétrico, sugerido para evaluar la tendencia en serie de datos ambientales. El test consiste básicamente en la comparación entre los valores que componen una misma serie temporal, en orden secuencial.

Este método en si determina si existe tendencia en los datos de las series temporales, para ello se basa en un numero de datos (n) de serie de tiempo ($X_1, X_2, X_3, X_4, \dots, X_n$) siendo reemplazados por rangos relativos ($R_1, R_2, R_3, R_4, \dots, R_n$) para ello:

$$S = \sum_{j=i+1}^n [sgn(R_j - R_i)]$$

Donde:

- $\text{Sgn}(x)=1$ para $x>0$
- $\text{Sgn}(x)=0$ para $x=0$
- $\text{Sgn}(x)=-1$ para $x<0$

Por lo que se tiene que si H_0 no se rechaza es por que S tiene una distribución normal aproximada con:

$$\mu = 0$$

$$\sigma = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18}$$

Es por ello que para calcular el estadístico Z se debe de comparar los valores de prueba crítica a diferentes niveles de significancia, mediante tablas de probabilidad teniendo así:

$$Z = \frac{|S|}{\sigma^{0.5}}$$

Donde sí se tiene valores positivos para S será índice de una tendencia creciente y viceversa. (49)

A continuación, se procede a realizar el contraste de hipótesis para realizar el test de Mann Kendall se cargarán los datos al software STATA para que nos brinde los datos requeridos para validar nuestras hipótesis.

Contraste de Hipótesis:

H_0 : No existe una tendencia monótona de los datos de la superficie de cuerpos de agua

H_a : Existe una tendencia monótona de los datos de la superficie de cuerpos de agua

Nivel de Significancia:

El nivel de significancia que se trabajará es de $\alpha = 0.05$

Criterio de Decisión:

Si $P < \alpha$, se rechaza H_0

Si $P \geq \alpha$, no se rechaza H_0

Para ejecutar el test de Mann Kendall es necesario usar el siguiente comando:

ksu "variable 1" "variable 2", stats(taua taub score se obs p) star(0.05) pw

Figura 31: Resultado del test Mann Kendall en STATA

```
Number of obs =      80
Kendall's tau-a =    -0.4741
Kendall's tau-b =    -0.4741
Kendall's score =   -1498
      SE of score =    240.693

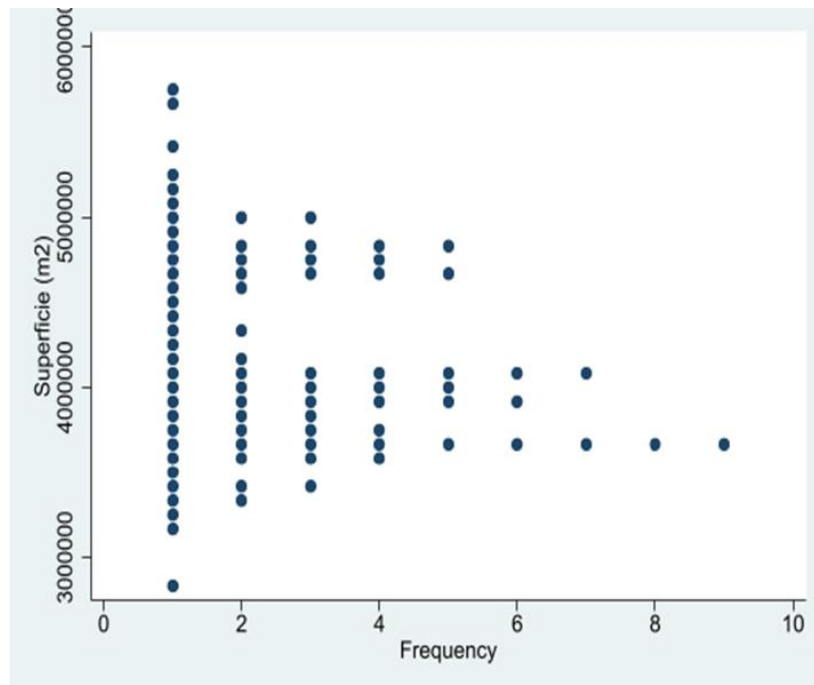
Test of H0: Superficiem2 and fecha are independent
      Prob > |z| =      0.0000 (continuity corrected)
```

Fuente: Elaboración propia

Interpretación:

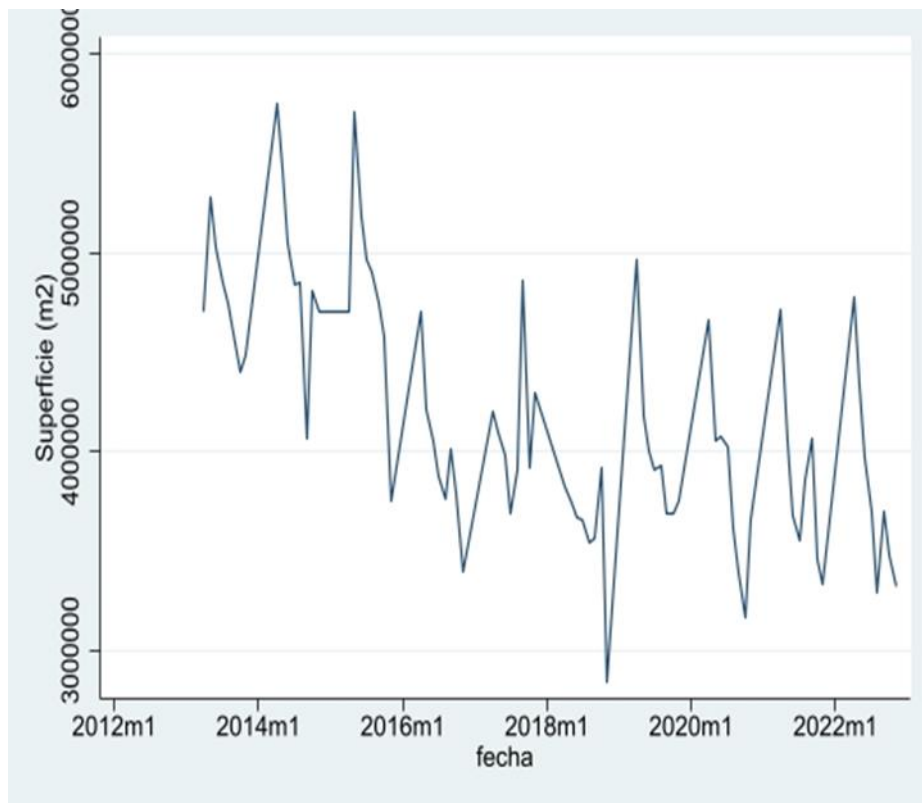
Como se observa, el valor de $\tau\text{-}a = -0.4741$ y el valor de $\tau\text{-}b = -0.4741$, que tiene un $p\text{-value} = 0.000$, el cual es menor que el nivel de significancia $\alpha = 0.05$, por lo que se concluye rechazar la hipótesis nula H_0 , lo cual significa que existe una tendencia monótona en la serie de datos de la superficie de cuerpos de agua.

Figura 32: Representación de Tendencia Obtenida respecto a su frecuencia



Fuente: Elaboración propia

Figura 33: Representación de Tendencia Obtenida respecto a su fecha



Fuente: Elaboración propia

4.4.3. Prueba de Estacionalidad – Test de Kruskal Wallis

El test de Kruskal Wallis es una prueba no paramétrica que maneja rangos de muestras de al menos tres poblaciones independientes, las muestras deben de tener como mínimo 5 observaciones, para ello se tiene el estadístico de la prueba H la cual se define por la varianza de la suma de los rangos $R_1, R_2, R_3 \dots R_n$, donde se aprecia que los rangos tienen una distribución equitativa, debe de tener un valor mínimo relativamente un valor pequeño, tomando en cuenta esto se dice que la hipótesis nula es aprobada, la misma que afirma que las muestras son aleatorias y que vienen de distribuciones poblaciones similares o equitativas. (50)

Por ende, para poder llevar a cabo la prueba se debe de tomar en cuenta las siguientes condiciones:

- ✓ La variable independiente debe medirse con valores ordinales.
- ✓ Las muestras tomadas deben de ser independientes.
- ✓ Las muestras provienen de idénticas poblaciones.

La fórmula que caracteriza al test de Kruskal Wallis es la siguiente

$$H = \frac{12}{N(N+1)} \left(\frac{R_1^2}{n_1} + \frac{R_2^2}{n_2} + \dots + \frac{R_k^2}{n_k} \right) - 3(N+1)$$

Donde:

- **N:** Suma de los tamaños de las muestras
- **R_i:** Suma de los rangos para la muestra
- **K:** Numero de muestras

Si el tamaño de muestra supera 5, el valor de H se aproximará a la distribución CHI – Cuadrado con k-1 grados de libertad caso contrario usar valores críticos para validar las hipótesis según H. (51)

Tomando en consideración que se cumplen con los requisitos mínimos establecidos se procede a realizar el contraste de hipótesis.

Contraste de Hipótesis:

Ho: Las medias de las superficies de cuerpos de agua son iguales

Ha: Las medias de las superficies de cuerpos de agua no son iguales

Nivel de Significancia:

El nivel de significancia que se trabajará es de $\alpha = 0.05$

Criterio de Decisión:

Si $P < \alpha$, se rechaza Ho

Si $P \geq \alpha$, no se rechaza Ho

Para ejecutar el test de Kruskal Wallis es necesario usar el siguiente comando:

kwallis “variable 1”, by(“variable 2”)

Figura 34: Resultado de test de Kruskal Wallis en STATA

```
chi2(79) = 79.000
          Prob = 0.4788

chi2(79) with ties = 79.000
                  Prob = 0.4788
```

Fuente: Elaboración propia

Interpretación:

Como se observa la serie tiene un $p\text{-value} = 0.4788$, el cual es mayor que el nivel de significancia $\alpha = 0.05$, por lo que se concluye el no rechazar la hipótesis nula H_0 , lo cual significa que las medias de las superficies de cuerpos de agua son iguales, esto indica que la serie es estacional.

4.4.4. Prueba de Estacionariedad – Test de Dickey Fuller

Existe dos tipos de modelos estocásticos los estacionarios y los no estacionarios es por ello que se recurre al test de Dickey Fuller, mediante este test se determina si hay raíces unitarias.

Para ello dicha prueba se basa a partir de la siguiente formula:

$$Y_i = \phi Y_{i-1} + \varepsilon_1$$

Donde:

- ε_1 : Ruido blanco
- Y_{i-1} : Variable independiente
- ϕ : Variable condicional ($|\phi| \leq 1$)

Tomando en cuenta nuestra variable condicional

Si: $|\phi|=1$: Se tendrá raíz unitaria por ende no es estacionario

$|\phi|<1$: El proceso será estacionario

Partimos del modelo AR (1) por autorregresivo de primer orden, para la cual se realiza el cálculo de diferencias:

$$Y_i - Y_{i-1} = \phi Y_{i-1} + \varepsilon_1 - Y_{i-1}$$

$$Y_i - Y_{i-1} = (\phi - 1)Y_{i-1} + \varepsilon_1$$

Reemplazamos: $\Delta Y_i = Y_i - Y_{i-1}$ y $\beta = \phi - 1$

$$\Delta Y_i = \beta Y_{i-1} + \varepsilon_1$$

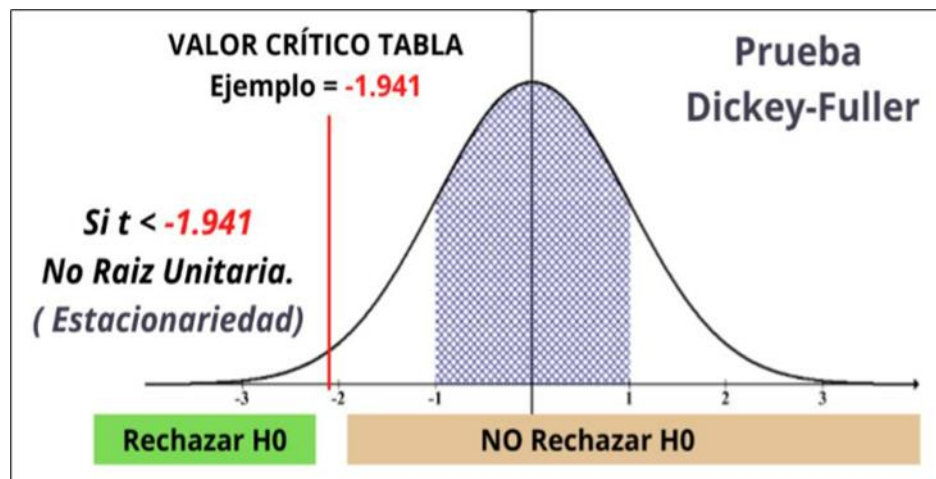
donde: $\beta \leq 0$

Por lo que tenemos que el valor de β no puede ser positivo teniendo así:

H_0 : $\beta = 0$ (equivale a $\phi = 1$) existe raíz unitaria por ende NO ES ESTACIONARIO

H_1 : $\beta < 0$ (equivale a $\phi < 1$) No existe raíz unitaria por ende ES ESTACIONARIO

Figura 35: Valores para el test de Dickey Fuller



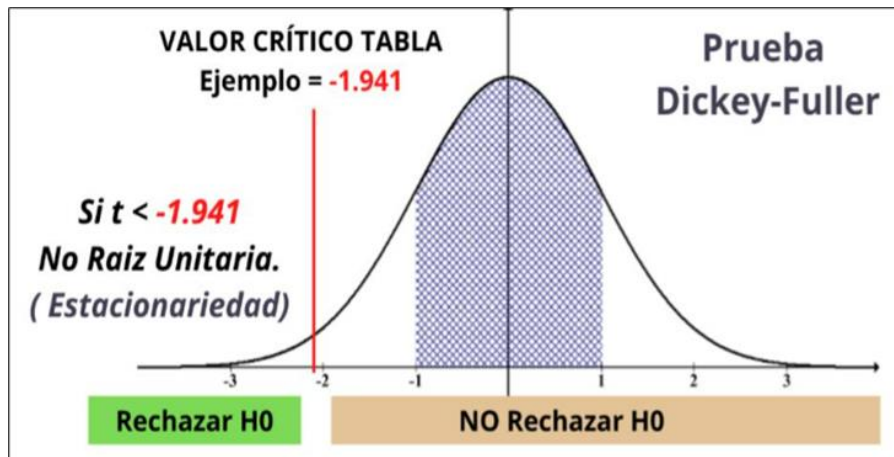
Fuente: A. Rico (53)

Cabe recalcar que se tienen tres modelos de regresión los cuales son:

- ✓ Sin constante, sin tendencia : $\Delta Y_i = \beta_1 Y_{i-1} + \varepsilon_1$
- ✓ Constante, sin tendencia: $\Delta Y_i = \beta_0 + \beta_1 Y_{i-1} + \varepsilon_1$
- ✓ Constante y tendencia: $\Delta Y_i = \beta_0 + \beta_1 Y_{i-1} + \beta_2 t + \varepsilon_1$

Para elegir la versión se debe de graficar y realizar una comparativa con las tablas de las distintas versiones. (53)

Figura 36: Valores de las tablas de Dickey Fuller



N	Model 0 - no constant, no trend				Model 1 - constant, no trend			
	0.01	0.025	0.05	0.10	0.01	0.025	0.05	0.10
25	-2.661	-2.273	-1.955	-1.609	-3.724	-3.318	-2.986	-2.633
50	-2.612	-2.246	-1.947	-1.612	-3.568	-3.213	-2.921	-2.599
100	-2.588	-2.234	-1.944	-1.614	-3.498	-3.164	-2.891	-2.582
250	-2.575	-2.227	-1.942	-1.616	-3.457	-3.136	-2.873	-2.573
500	-2.570	-2.224	-1.942	-1.616	-3.443	-3.127	-2.867	-2.570
>500	-2.567	-2.223	-1.941	-1.616	-3.434	-3.120	-2.863	-2.568

Model 2 - constant, trend			
0.01	0.025	0.05	0.10
-4.375	-3.943	-3.589	-3.238
-4.152	-3.791	-3.495	-3.181
-4.052	-3.722	-3.452	-3.153
-3.995	-3.683	-3.427	-3.137
-3.977	-3.670	-3.419	-3.132
-3.963	-3.660	-3.413	-3.128

Fuente: A. Rico (53)

Para realizar dicha prueba optamos por el software STATA el mismo que usamos en las pruebas previas, ya que cumple con la programación requerida, a continuación, se procede con el planteamiento de las hipótesis.

Contraste de Hipótesis:

Ho: Los datos de las superficies de cuerpos de agua no son estacionarios

Ha: Los datos de las superficies de cuerpos de agua son estacionarios

Nivel de Significancia:

El nivel de significancia que se trabajará es de $\alpha = 0.05$

Criterio de Decisión:

Si $P < \alpha$, se rechaza H_0

Si $P \geq \alpha$, no se rechaza H_0

Para ejecutar el test de Dickey Fuller es necesario usar el siguiente comando:

dfuller "variable 1"

Figura 37: Resultado de test de Dickey Fuller en STATA

Dickey-Fuller test for unit root		Number of obs = 70		
Variable: Superficiem2		Number of lags = 0		
H0: Random walk without drift, d = 0				
	Test	Dickey-Fuller		
	statistic	critical value		
		1%	5%	10%
Z(t)	-2.908	-3.552	-2.914	-2.592
MacKinnon approximate p-value for Z(t) = 0.0444.				

Fuente: Elaboración propia

Interpretación:

Como se observa la serie tiene un $p\text{-value} = 0.0444$, el cual es menor que el nivel de significancia $\alpha = 0.05$, por lo que se concluye rechazar la hipótesis nula H_0 , lo cual significa que los datos de las superficies de cuerpos de agua son estacionarios.

4.4.5. Identificación del Modelo Predictivo – Modelo ARMA (p, q)

El modelo ARMA es una combinación de dos modelos tanto el AR y el MA ya que tiene p términos autorregresivo y q términos de medios móviles brindándonos así el modelo ARMA (p, q), el cual cumple con una formula general:

$$Y_t = Q_1 Y_{t-1} + Q_2 Y_{t-2} + Q_3 Y_{t-3} + \dots + Q_p Y_{t-p} + a_t - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2} - \dots - \theta_q a_{t-q}$$

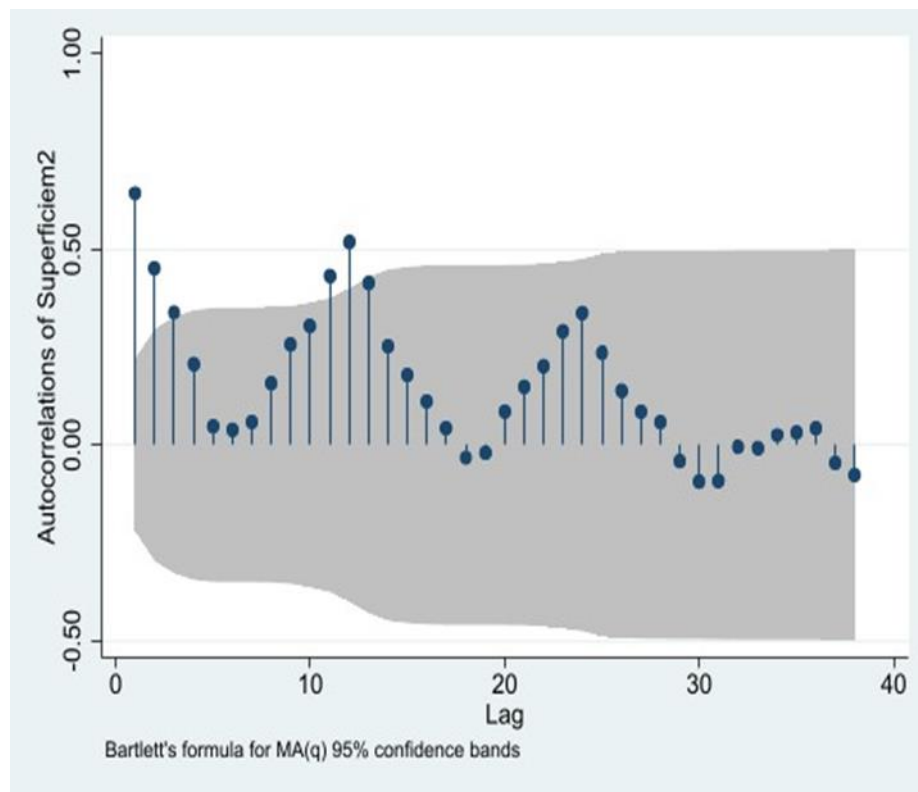
Donde se tiene que p representa los valores de los periodos anteriores y su grado de influencia esta dado por Q_p mientras que q representa los errores. (53)

Proceso Autorregresivo – Medios Móviles

El proceso autorregresivo se refleja a través del valor de la constante " p ", y este valor se obtiene mediante el número de rezagos que tiene el Figura de Autocorrelación Simple. Se aplica el siguiente comando:

ac “variable”

Figura 38: Numero de rezagos de la Autocorrelación Simple



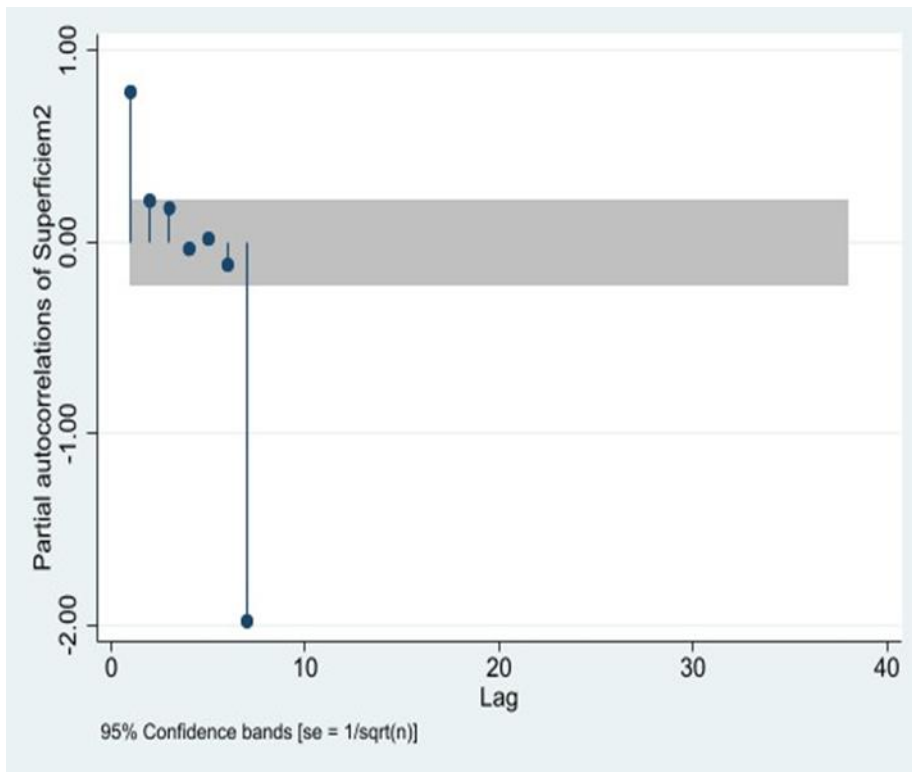
Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar en el Figura de autocorrelación simple se tiene 2 rezagos a lo más en la parte inicial, por lo cual los valores que puede tomar la constante $p = (0, 1, 2)$.

Los medios móviles se reflejan a través de la constante “ q ”, y este valor se obtiene mediante el número de rezagos que tiene el Figura de Autocorrelación Parcial. Se aplica el siguiente comando:

pac “variable”

Figura 39: Numero de rezagos de la Autocorrelación Parcial

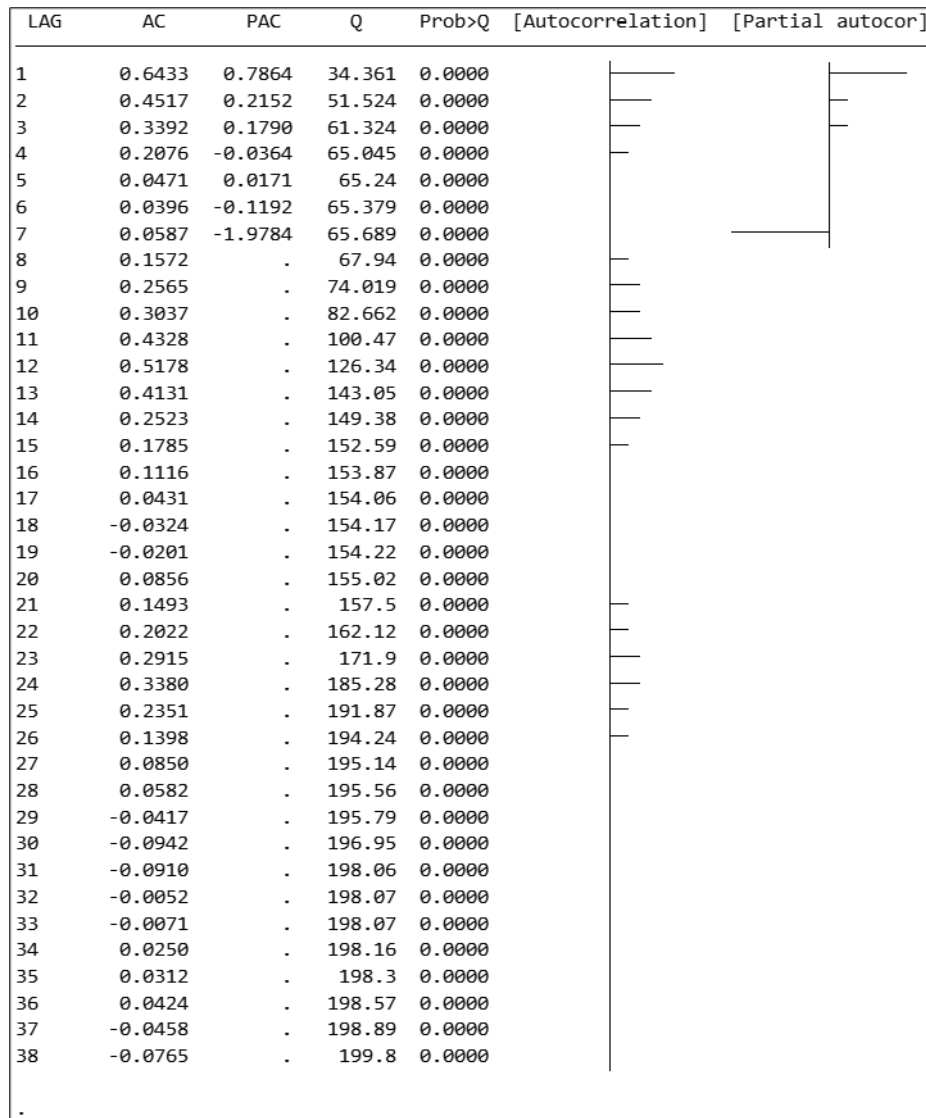


Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar en el Figura de autocorrelación simple se tiene 1 rezago en la etapa inicial, por lo cual los valores que puede tomar la constante $q = (0, 1)$.

Se muestra el correlograma para visualizar mejor el número de las fases lag que tienen la autocorrelación simple y parcial:

Figura 40: Correlograma de la autocorrelación simple y parcial



Fuente: Elaboración propia

4.4.6. Construcción del Modelo Predictivo – Modelo ARMA (p,q)

La construcción del modelo predictivo ARMA por medio del valor de $p = 1$, $d = 0$ (no hubo que aplicar diferenciación), $q = 1$. Se aplicó el siguiente comando:

arima “variable”, arima(p,d,q)

arima Superficiem2, arima (1,0,1)

Figura 41: Resultados modelo ARMA

Sample: 2013m4 thru 2022m11, but with gaps		Number of obs	=	80		
Log likelihood = -1149.88		Wald chi2(2)	=	103.39		
		Prob > chi2	=	0.0000		
		OPG				
Superficiem2	Coefficient	std. err.	z	P> z	[95% conf. interval]	
Superficiem2 _cons	4183086	154342.6	27.10	0.000	3880580	4485592
ARMA						
ar						
l1.	.7573305	.103062	7.35	0.000	.5553327	.9593284
ma						
l1.	-.0156086	.1786974	-0.09	0.930	-.3658491	.3346319
/sigma	402861.5	30470.68	13.22	0.000	343140.1	462583

Fuente: Elaboración propia

El valor de χ^2 es igual a 0, por lo cual se puede decir que el modelo es significativo.

El valor de P en sigma es igual a 0, por lo cual se puede decir que el modelo es significativo.

Para realizar los análisis de los índices AIC (criterio de información de Akaike) y BIC (criterio de información Bayesiano) se usa el siguiente comando:

estatic

Figura 42: Análisis de índice AIC y BIC

Model	N	ll(null)	ll(model)	df	AIC	BIC
.	80	.	-1149.88	4	2307.76	2317.288

Fuente: Elaboración propia

El valor de AIC es igual a 2307.76 y el valor de BIC es igual 2.317.228; los cuales son valores significativos.

4.4.7. Validación del Modelo Predictivo – Modelo ARMA (p,q)

Test de Ruido Blanco

Primero se predicen los residuos para analizarlos, y esto se genera a través del siguiente comando:

```
predict error, resid
```

Para analizar los estadísticos de los errores se usa el siguiente comando:

```
sum error
```

Figura 43: Resultado Test de ruido Blanco

Variable	Obs	Mean	Std. dev.	Min	Max
error	80	-33787.82	451005.7	-1141651	1500751

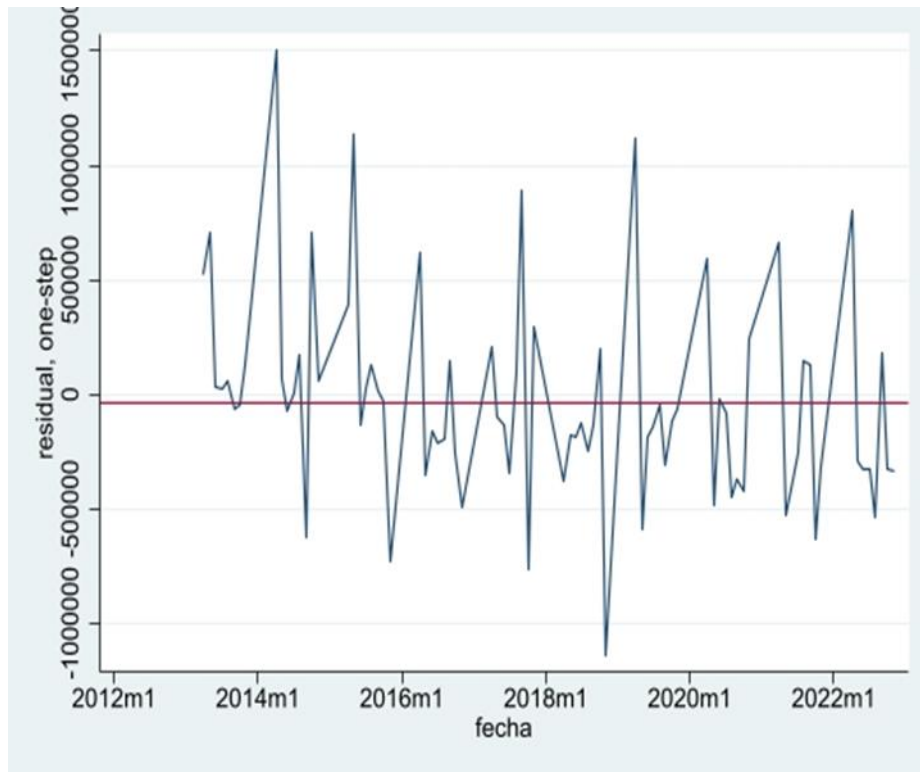
Fuente: Elaboración propia

Se denota que la media es igual a -33787.82 y desviación estándar es igual a 451005.7.

Los residuos se grafican a través del siguiente comando:

```
tsline error, yline(Mean)
```

Figura 44: Representación de residuos obtenidos



Fuente: Elaboración propia

Para evaluar la estacionariedad de los residuos se toma el test de Dickey Fuller, con el siguiente comando:

Figura 45: Resultado de test de Dickey Fuller en STATA de los residuos

Test statistic	Dickey-Fuller critical value			
	1%	5%	10%	
Z(t)	-10.844	-3.552	-2.914	-2.592
MacKinnon approximate p-value for Z(t) = 0.0000.				

Fuente: Elaboración propia

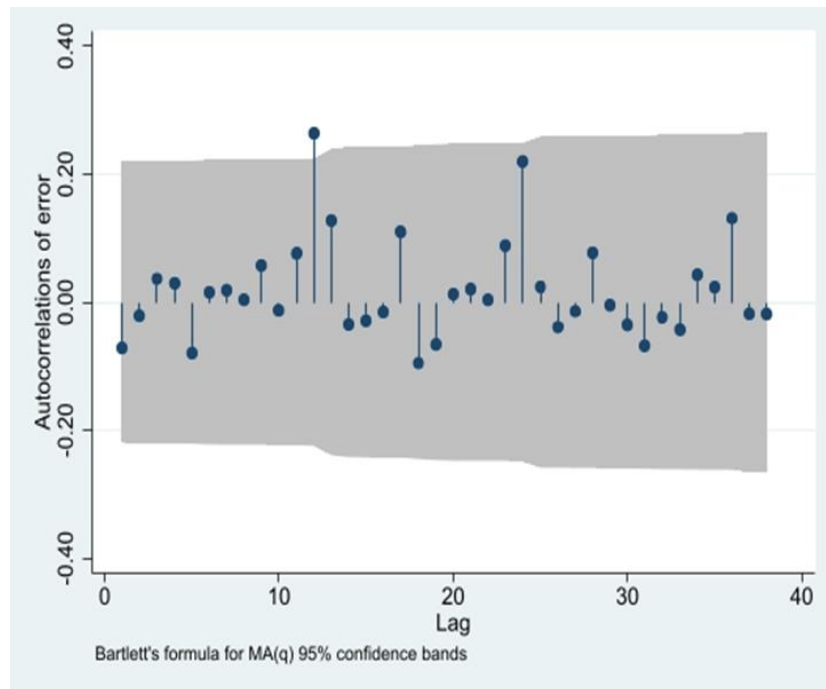
El valor p-value es igual a 0, que es menor a 0.05. Esto quiere decir que los residuos son estacionarios.

Se analiza los rezagos de la autocorrelación simple y parcial, a través de los siguientes comandos:

ac error

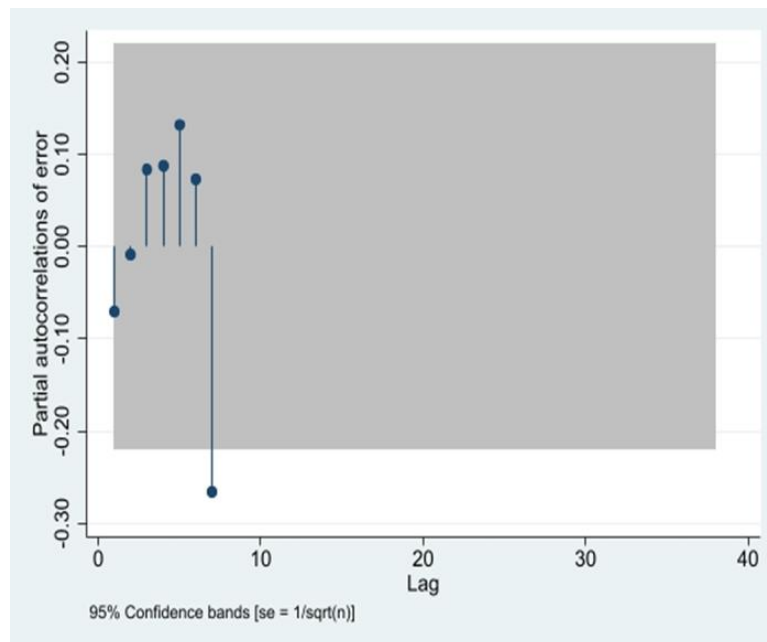
pac error

Figura 46: Autocorrelación Simple - proceso autorregresivo de los residuos



Fuente: Elaboración propia

Figura 47: Autocorrelación Simple – Medios Móviles de los residuos



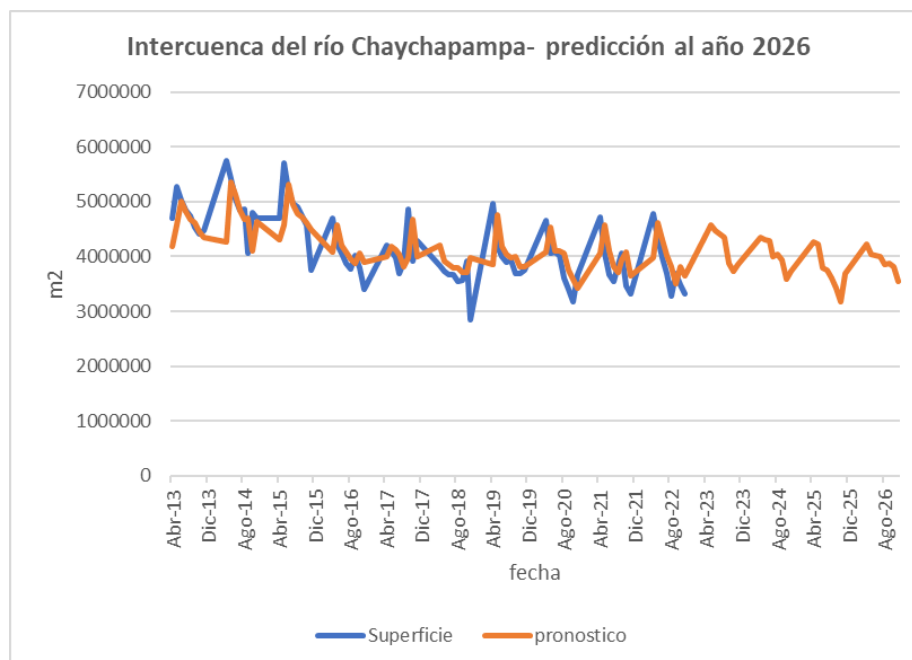
Fuente: Elaboración propia

4.4.8. Predicción a través modelo ARMA (1,1)

tsappend, add (24)

predict pronóstico, y dynamic(m(2022m11))

Figura 48: Pronostico al año 2026 de la Intercuencia del rio Chaychapampa



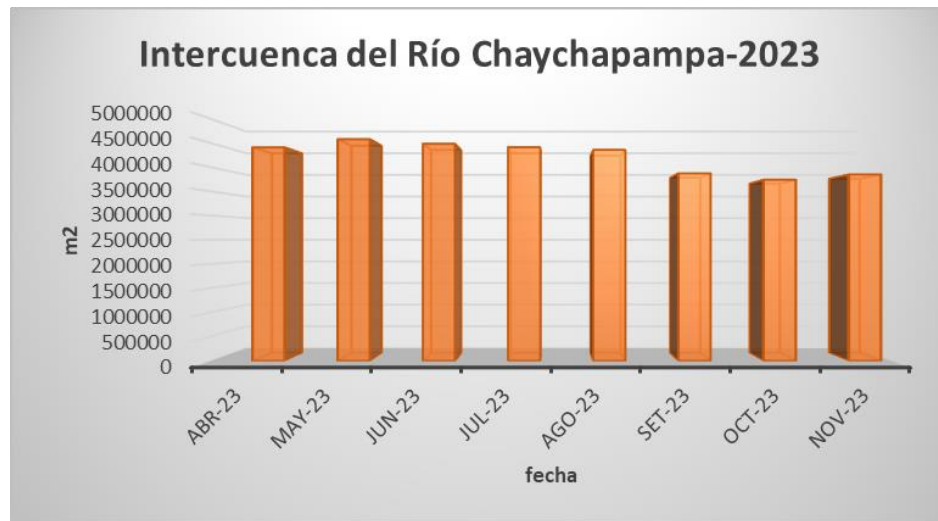
Fuente: Elaboración propia

4.4.9. Análisis predictivo de los cuerpos de agua de la Intercuencia del rio Chaychapampa desde el año 2023-2026.

4.4.9.1. Análisis predictivo mensual de la superficie de los cuerpos de agua para el año 2023.

Mediante el análisis predictivo se puede obtener los siguientes datos para ser interpretados teniendo que para el año 2023 los datos obtenidos de la superficie de los cuerpos de agua de la Intercuencia del rio Chaychapampa que se representan entre los meses de abril a noviembre se aprecia un área promedio $4\,209\,350\ m^2$ teniendo para mayo, el valor más alto de ese año con $4\,575\,055\ m^2$ y como el valor más bajo entre los meses analizados a octubre con $3\,738\,288\ m^2$ con consiguiente podemos hallar el rango entre el valor máximo correspondiente al mes de mayo y el valor mínimo correspondiente al mes de octubre nos da como resultado $836\,767\ m^2$ a continuación se presenta el siguiente Figura con la comparativa de cada mes.

Figura 49: Comparativa de la superficie en m^2 de los cuerpos de agua de la Intercuenca del río Chaychapampa por meses en el año 2023

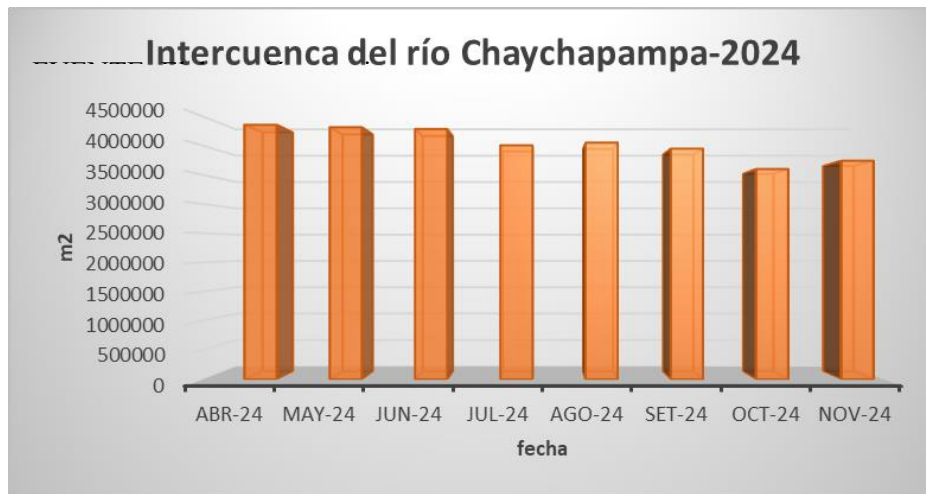


Fuente: Elaboración propia

4.4.9.2. Análisis predictivo mensual de la superficie de los cuerpos de agua para el año 2024.

Para el año 2024 los datos obtenidos de la superficie de los cuerpos de agua en la Intercuenca del río Chaychapampa a través del modelo predictivo se presenta que entre los meses de abril a noviembre nos da un promedio en área de 4 033 743 m^2 , siendo abril de ese año el que obtiene mayor área con 4 351 975 m^2 , por otro lado, el valor en área mas bajo se da en octubre con unos 3 595 763 m^2 de este modo podemos obtener un rango entre el máximo y el mínimo en área para el año 2024 de 756 212 m^2 .

Figura 50: Comparativa de la superficie en m^2 de los cuerpos de agua de la Intercuenca del río Chaychapampa por meses en el año 2023

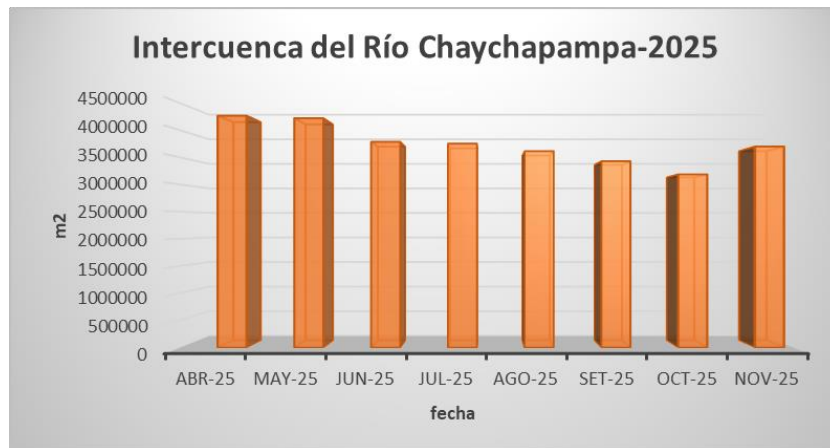


Fuente: Elaboración propia

4.4.9.3. Análisis predictivo mensual de la superficie de los cuerpos de agua para el año 2025.

En el año 2025, se tienen como promedio anual $3\,741\,172\ m^2$ en área de la superficie de los cuerpos de agua, se presenta que para el mes de abril tendremos $4\,262\,941\ m^2$ como el valor más alto en relación a los cuerpos de agua y como el mes con menor área octubre con $3\,184\,148\ m^2$, entonces podemos hallar un rango comprendido entre ambos meses de $1\,078\,793\ m^2$, siendo el mes de octubre de ese año el valor más bajo en área para los años de predicción desde el 2023 al 2026.

Figura 51: Comparativa de la superficie en m^2 de los cuerpos de agua de la Intercuenca del río Chaychapampa por meses en el año 2025

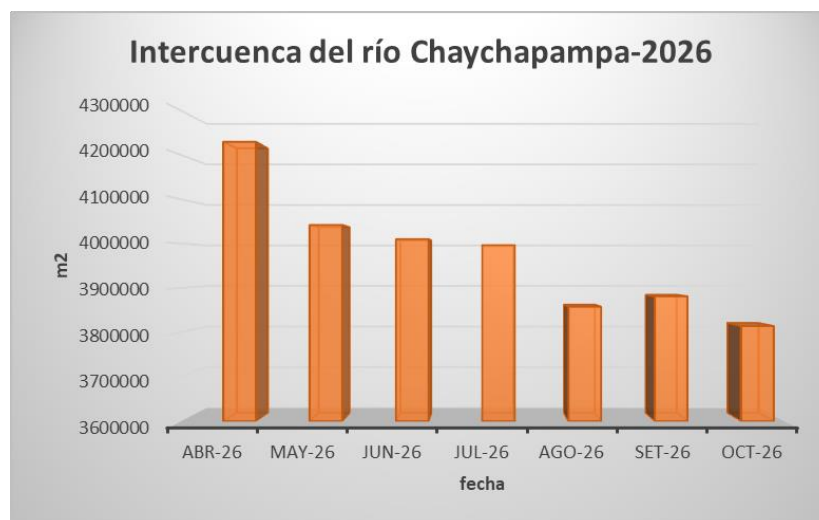


Fuente: Elaboración propia

4.4.9.4. Análisis predictivo mensual de la superficie de los cuerpos de agua para el año 2026.

Para el año 2026, se obtiene como promedio anual en área de la superficie de los cuerpos de agua el valor de $3\,921\,246\ m^2$, visualizando el grafico podemos obtener que para ese año en abril muestra $4\,228\,887\ m^2$ como valor mas alto y en noviembre unos $3\,539\,957\ m^2$ como el valor mas bajo, podemos determinar el rango que da $688\,930\ m^2$ comprendidos entre los meses de mayor y menor área del mismo año.

Figura 52: Comparativa de la superficie en m^2 de los cuerpos de agua de la Intercuenca del río Chaychapampa por meses en el año 2026



Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

Se realizó el análisis espacio temporal y predictivo de la superficie de los cuerpos de agua de la Intercuenca del río Chaychapampa, distrito de Velille, provincia de Chumbivilcas de la región Cusco, para cada año se hizo un análisis entre abril a noviembre, se determinó para cada año el mes con la mayor superficie y el de menor superficie desde el 2013 al 2022, para la predicción de igual manera se tomaron los meses de abril a noviembre entre los años 2023 al 2026 a través de un pronóstico de ajuste generado por el modelo ARMA (1,1), se pudo graficar desde el 2013 al 2026, mostrando una simulación similar desde el 2013 al 2022 y por otro lado la simulación predictiva desde el 2023 al 2026, del cual podemos observar que la superficie de los cuerpos de agua siguen descendiendo y tenemos el 2025 como el año con el más bajo valor de los años de predicción.

Se determinó satisfactoriamente mediante la aplicación del índice de agua de diferencia normalizada (NDWI) la distribución espacial y temporal de los cuerpos de agua en la Intercuenca del Río Chaychapampa, donde se aprecia una aparente pérdida de cuerpos de agua tanto lóticos como lénticos, presentando una mayor tendencia negativa en los cuerpos acuáticos lénticos la misma que en el 2018 se dio la mayor reducción significativa durante todos los años de estudio; Durante los 3 primeros años se visualiza una menor variación entre los picos anuales, sin embargo para el 2016 hubo un notorio decrecimiento a partir de esta fecha se logra apreciar tanto el ascenso como descenso de los picos anuales, los mismos que no volvieron a tener un incremento significativo hasta la fecha.

Mediante la aplicación del software ArcGIS se logró calcular la superficie de los cuerpos de agua de la Intercuenca del río Chaychapampa entre los años 2013 a 2022, dicho cálculo se realizó en unidades de metros cuadrados donde 2013 nuestro primer año de estudio se obtuvo un total de 4754839.32m^2 , se apreció un incremento en la superficie para el año 2014 con un total de 4938280.05m^2 , posteriormente para el 2015 se aprecia un decrecimiento en la superficie de cuerpos acuáticos con un total de 4818914.67m^2 , la disminución de la superficie de cuerpos acuáticos fue más notoria para el año 2016 con un total de 3976989.40m^2 , para el 2017 hubo un pequeño incremento donde se tuvo 4119608.56m^2 , para el 2018 se tuvo el pico más alto de tendencia negativa puesto que el área total de cuerpos acuáticos decreció figurando para este año solo 3595679.49m^2 , para el 2019 hubo un incremento teniendo 4014815.53m^2 , a partir de esta fecha no se tuvo una variación tan notoria puesto la tendencia es negativa decreciente para los años 2020, 2021 y 2022 se tiene 3832235.843 , 3838039.89 , 3820634.76m^2 , respectivamente.

Se logro proyectar los cuerpos de agua gracias a nuestro modelo predictivo ARMA (1,1) en la superficie de los cuerpos de agua de la Intercuenca del río Chaychapampa al año 2026, una vez obtenido el modelo de predicción se visualiza el desarrollo de los cuerpos de agua desde el año 2023 al 2026, como se muestra en el punto “4.3.8. Predicción a través del modelo ARMA (1,1)”, observándose que los cuerpos de agua se verán afectados en los próximos años, pudiendo generar alteración en la economía de los pobladores de la zona y sus actividades económicas, para el año 2023 tendremos aun con respecto a los cuerpos de agua de la zona un promedio en área $4\,209\,350\text{m}^2$ siendo este el promedio más alto de todos los años de la predicción y el mes de mayo con $4\,575\,055\text{m}^2$ la mayor área de todos los meses de todos los años en análisis, por otro lado el promedio anual más bajo en área se representa para el año del 2025 con $3\,741\,172\text{m}^2$ y ese mismo año podemos hallar al mes con el valor más bajo en área de $3\,184\,148\text{m}^2$, con esto podemos determinar que el año 2025 será el año con menor cobertura de todos los años en los cuerpos de agua de la Intercuenca del río Chaychapampa, distrito de Velille, Chumbivilcas, Cusco.

RECOMENDACIONES

En base a los resultados de pronóstico se podría aplicar técnicas de captación de agua en los meses de mayor cantidad de precipitación, una de estas podría ser la siembra y cosecha de agua para así abastecer a la población de agua en los meses de mayor sequía y no verse afectados principalmente en las actividades de agricultura y ganadería.

Se brindan las siguientes recomendaciones para investigaciones futuras relacionados a este tema de indagación relacionado a recursos hídricos.

Indagar sobre más plataformas satelitales que puedan brindar imágenes en buena resolución y con un menor porcentaje de nubosidad, sobre todo en meses de épocas de estiaje (diciembre, enero, febrero y marzo)

Se recomienda trabajar con la plataforma COPERNICUS por la fácil accesibilidad, por la mejor resolución de sus imágenes en comparación con otras y por ser de descarga libre.

Se recomienda en caso de tener datos faltantes por factores como la nubosidad u otros que nos imposibilite procesar las imágenes satelitales, se puede optar por la imputación de datos.

Fomentar la realización de este tipo de estudios y difundir la investigación en los gobiernos locales y regionales para prever políticas para la preservación de los recursos hídricos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **REVILLOD RODRÍGUEZ, Maeleine Sheyla.** Repositorio UDEC. [En línea] Diciembre de 2018. <http://repositorio.udec.cl/jspui/bitstream/11594/3303/4/Revillod%20Rodr%c3%adguez%2c%20Madelaine.pdf>.
2. **SOTO PARDO, Dora.** *Las Condiciones de Sequía y Estrategias de Gestión en el Perú.* Autoridad Nacional del Agua. Lima : Centro Peruano de Estudios Sociales, 2013.
3. **PACINO, María Cristina, PEREIRA, Ayelén y COTLIER, Carlos.** SciELO Analytics. *SciELO Analytics.* [En línea] SciELO Analytics, 21 de Septiembre de 2011. [Citado el: 05 de mayo de 2023.] http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1852-77442011000200008&lang=es.
4. **BELLO CHIRINOS, Cinthya Elizabeth.** *Cuantificación de la Alteración Hidrológica en la Cuenca del Río Vilcanota para el periodo 1965 - 2016.* Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima : Maestría en Gestión de Cuencas Hidrográficas, 2019.
5. **MONCADA SOSA, Wilmer Enrique.** Análisis del Balance de Masa para la Evaluación del Régimen Hidrológico empleando Técnicas de Teledetección Satelital y Modelos Hidrológicos - Caso Estudio: Cabecera de la Cuenca Cachi-Apacheta, Región Ayacucho. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima : Dirección Nacional de Escuela de Posgrado, 2021.
6. **ZUMAETA LOZANO, Dante Leonardo.** Análisis Multitemporal y Predictivo del Cambio de Uso de Suelo y Pérdida de Cobertura Vegetal en la Microcuenca Yuyac, Amazonas, 2018. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas. Amazonas : Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, 2018.
7. **DÍAZ CRUZ, Silvia Rosmeri.** Análisis Multiespectral mediante Imágenes Satelitales para Identificar Zonas de Recarga Hídrica Subterránea en la Cuenca Jequetepeque. Universidad Nacional de Cajamarca. Cajamarca : Escuela de Ingeniería Geológica, 2018.
8. **VARGAS, Miguel.** SCRIBD. *SCRIBD.* [En línea] SCRIBD. [Citado el: 7 de mayo de 2023.] <https://es.scribd.com/document/403230063/329812898-Hidrologia-rio-Velille-pdf#>.
9. **NCGO.** NCGO. [En línea] 15 de Marzo de 2021. [Citado el: 11 de Septiembre de 2023.] <https://ncgovote.org/es/qu%C3%A9-es-la-autocorrelaci%C3%B3n/>.
10. **ArcGIS Resources.** ArcGIS Resources. [En línea] [Citado el: 30 de Abril de 2023.] <https://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n0000014000000.htm>.

11. **ArcGis PRO.** ArcGis PRO. *ArcGis PRO*. [En línea] [Citado el: 2023 de Mayo de 14.] <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/help/data/imagery/raster-bands-pro-.htm#:~:text=Una%20banda%20est%C3%A1%20representada%20por%20una%20%C3%BAnica%20matriz,%C3%BAnica%20es%20un%20modelo%20digital%20de%20elevaci%C3%B3n%20%28DEM%29..>

12. **Máxima Formación.** Máxima Formación. [En línea] Albin Soft. [Citado el: 30 de Abril de 2023.] <https://www.maximaformacion.es/blog-dat/que-es-la-correlacion-estadistica-y-como-interpretarla/>.

13. **Autoridad Nacional de Agua.** *Glosario de Recursos Hídricos*. Lima : ANA, 2016. pág. 267.

14. **Autoridad Nacional del Agua.** *Glosario de Recursos Hídricos*. Lima : ANA, 2016. pág. 268.

15. **Copernicus Europe's eyes on Earth.** #EUSpace. [En línea] [Citado el: 12 de Julio de 2023.] <https://www.copernicus.eu/es>.

16. **Autoridad Nacional del Agua.** *Glosario de Recursos Hídricos*. Lima : ANA, 2016. pág. 422.

17. **Asth, Rafael.** Significados.com. [En línea] 8 de Junio de 2023. [Citado el: 11 de Septiembre de 2023.] <https://www.significados.com/que-es-desviacion-estandar/>.

18. **Microsoft.** Microsoft Soporte. [En línea] Microsoft 365. [Citado el: 14 de Julio de 2023.] <https://support.microsoft.com/es-es/office/tareas-b%C3%A1sicas-en-excel-dc775dd1-fa52-430f-9c3c-d998d1735fca#:~:text=Excel%20es%20una%20herramienta%20muy,casi%20cualquier%20tipo%20de%20informaci%C3%B3n..>

19. **LESKOW COLUCCIO, Estefania.** Concepto.de. *Concepto.de*. [En línea] CONCEPTO, 15 de Julio de 2021. [Citado el: 14 de Mayo de 2023.] <https://concepto.de/espectro-electromagnetico/>.

20. **BRÁÑEZ, Roy.** *Fenómenos de Flujo Hídrico*. [Docuemnto] Lima : SCRIBD, 2018.

21. **LA VANGUARDIA.** ANDRO4ALL. [En línea] Difoosion, S.L. Derechos reservados., 8 de Marzo de 2021. [Citado el: 30 de Abril de 2023.]

<https://www.lavanguardia.com/andro4all/google-maps/google-earth-guia-completa-que-es-como-usarlo-y-4-cosas-geniales-que-puedes-hacer-2021-03-08>.

22. **Analytics, EOS Data.** EOS Data Analytics. [En línea] [Citado el: 11 de Septiembre de 2023.] <https://eos.com/es/make-an-analysis/ndwi/>.

23. **EOS DATA ANALYTICS.** Analysis Panchromatic. *Analysis Panchromatic*. [En línea] EOS Data Analytics, Inc., 2023. [Citado el: 2023 de Mayo de 16.] <https://eos.com/es/make-an-analysis/panchromatic/>.

24. **Rodríguez, Adrián.** Adrián Rodríguez - blog. [En línea] 28 de Diciembre de 2018. [Citado el: 16 de Septiembre de 2023.] https://adrian-rdz.github.io/Imputacion_Estadistica/.

25. **Autoridad Nacional del Agua.** *Glosario de Recursos Hídricos*. Lima : ANA, 2016. pág. 265.

26. **EOS DATA ANALYTICS.** EOS DATA ANALYTICS. [En línea] EOSDA LANDVIEWER, 18 de Junio de 2021. [Citado el: 30 de Abril de 2023.] <https://eos.com/es/blog/bandas-landsat-8/>.

27. **Ocaña, Juan José Hernández.** Academia. [En línea] [Citado el: 14 de Octubre de 2023.] https://www.academia.edu/35189536/Pruebas_parametricas_y_pruebas_no_parametricas.

28. **Rodó, Paula.** Economipedia. [En línea] 30 de Julio de 2019. [Citado el: 14 de Octubre de 2023.] <https://economipedia.com/definiciones/contraste-de-dickey-fuller.html>.

29. **Daniel, Diana Miriam.** CENTRO BANAMEX. [En línea] 24 de Marzo de 2023. [Citado el: 11 de Septiembre de 2023.] <https://www.centrobanamex.com.mx/que-es-una-prueba-de-normalidad-y-para-que-se-usa/>.

30. **IBM.** IBM. [En línea] [Citado el: 12 de Septiembre de 2023.] <https://www.ibm.com/docs/es/spss-statistics/saas?topic=tests-one-sample-kolmogorov-smirnov-test>.

31. **Benites, Luis.** STATOLOGOS. [En línea] 26 de Mayo de 2022. [Citado el: 11 de Septiembre de 2023.] <https://statologos.com/prueba-de-tendencia-de-mann-kendall/#:~:text=La%20prueba%20de%20tendencia%20de%20Mann%20Kendall%20%28a,sus%20datos%20no%20deben%20tener%20una%20correlaci%C3%B3n%20serial.>

32. **ESRI.** ArcGIS Desktop. [En línea] Esri, 2021. [Citado el: 30 de Abril de 2023.] <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/manage-data/raster-and-images/what-is-raster-data.htm>.
33. **Iluminet.** Iluminet. *Iluminet*. [En línea] Recomendaciones Técnicas, 5 de Junio de 2018. [Citado el: 2023 de Mayo de 16.] <https://iluminet.com/luz-iluminacion-reflectancia/>.
34. **Autoridad Nacional de Agua.** *Glosario de Recursos Hídricos*. Lima : ANA, 2016. pág. 363.
35. **SENAMHI.** *Un buen clima Glosario de Terminos Meteorologicos*. Primera. Lima : Limagraf A&T E.I.R.L., 2018. pág. 5. Vol. I.
36. **THE EUROPEAN SPACE AGENCY.** AGENCY SENTINEL 2 . [En línea] 17 de 06 de 2015. [Citado el: 28 de Junio de 2023.] https://www.esa.int/Space_in_Member_States/Spain/SENTINEL_2.
37. **QUESTION PRO.** questionpro. [En línea] [Citado el: 12 de Septiembre de 2023.] <https://www.questionpro.com/es/que-es-spss.html>.
38. **Llamas, Jonathan.** ECONOMIPEDIA. [En línea] 5 de Marzo de 2023. [Citado el: 12 de Septiembre de 2023.] <https://economipedia.com/definiciones/matematicas/stata.html#:~:text=Actualizado%20el%2005%20marzo%202023%20STATA%20es%20un,que%20posee%20su%20propiedad%20y%20derechos%20de%20distribuci%C3%B3n..>
39. **Departamento del Interior de los Estados Unidos.** Departamento del Interior de los Estados Unidos. *Departamento del Interior de los Estados Unidos*. [En línea] [Citado el: 2023 de Mayo de 14.] <https://www.doi.gov/ocl/usgs-oversight-0>.
40. **López, José Francisco.** Economipedia. [En línea] 29 de Marzo de 2019. [Citado el: 12 de Septiembre de 2023.] <https://economipedia.com/definiciones/estadistica-no-parametrica.html>.
41. —. ECONOMIPEDIA. [En línea] 1 de Septiembre de 2020. [Citado el: 12 de Septiembre de 2023.] <https://economipedia.com/definiciones/varianza.html>.
42. **ARDILU.** ARDILU. [En línea] 13 de Octubre de 2022. [Citado el: 12 de Septiembre de 2023.] <https://www.ardilu.com/guias/microsoft-visio-que-es>.
43. **MAYA, Esther.** *Métodos y Técnicas de Investigación*. México : Universidad Nacional Autónoma de México, 1997. pág. 90. Vol. 1. 978-97032-5432-3.

44. **ESCUADERO SÁNCHEZ, Carlos Leonel y CORTEZ SUÁREZ, Liliana Alexandra.** *Técnicas y Métodos Cualitativos para la Investigación Científico*. Machala : UTMACH, 2018. pág. 104. Vol. 1. 978-9942-24-092-7.
45. **HERNÁNDEZ SAMPIERI, Roberto, FERNÁNDEZ COLLADO, Carlos y BAPTISTA LUCIO, Pilar.** *Metodología de la Investigación*. Monterrey : MCGRAW-HILL. pág. 265. Vol. 4.
46. —. *Metodología de Investigación*. Cuarta. Monterrey : MCGRAW-HILL. pág. 265. Vol. 4.
47. *Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio*. **OTZEN, Tamara y MANTEROLA, Carlos.** 1, s.l. : Int. J. Morphol, 2017, Vol. 35, págs. 227 - 232.
48. **Administración Técnica del Distrito de Riego Sicuani.** *Mapa HidroFigura e Inventario de Fuentes de Aguas Superficiales en el Ámbito del ATDR Sicuani*. Cusco, Unidad Agraria Departamental de Cusco. Sicuani : INRENA, 2005. pág. 122.
49. *¿Qué es y para qué sirve el Intervalo de Confianza?* **Ladislao P. Díaz Ballve, Fernando G. Ríos, Marcela Mariano.** 1, Buenos Aires : Revista Argentina de Terapia Intensiva, 2019, Vol. 36.
50. **Siriwardena, Francis Chiew y Lionel.** Trend trend/ change detection software. [En línea] Febrero de 2005. [Citado el: 10 de Octubre de 2023.] http://www.dsm.unisalento.it/~plionello/docs/CMSCZ_2013-2014/TREND_User_Guide.pdf.
51. **Ocaña, Juan José Hernández.** Academia. [En línea] [Citado el: 15 de Octubre de 2023.] https://www.academia.edu/35189536/Pruebas_parametricas_y_pruebas_no_parametricas.
52. **mathcracker.com.** mathcracker.com. [En línea] [Citado el: 15 de Octubre de 2023.] <https://mathcracker.com/es/calculadora-kruskal-wallis>.
53. **A.Rico, Victor.** Finanzas Cuantitativas en Español. [En línea] 29 de Junio de 2021. [Citado el: 17 de Octubre de 2023.] <https://ricovictor.com/index.php/2021/06/29/test-de-dickey-fuller-aumentado-en-r/>.
54. **Ramírez, Margarita Cruz y Diana.** Library. [En línea] Mayo de 2021. [Citado el: 16 de Octubre de 2023.] <https://1library.co/document/yr3pr7op-universidad-aut%C3%B3noma-del-estado-de-m%C3%A9xico.html>.
55. **Autoridad Nacional del Agua.** *Glosario de Recursos Hídricos*. [Documento] Lima : ANA, 2016.

56. **BELÉNDEZ VÁZQUEZ, Augusto.** *Calor y Temperatura.* [ed.] Ingeniería de Sistemas y Teoría de la Señal Departamento de Física. s.l. : Universidad de Alicante, 2017.
57. **TCM Metrologia.** TCM. [En línea] Técnicas de control metrológico S.L., 28 de Julio de 2022. [Citado el: 30 de Abril de 2023.] <https://www.tcmetrologia.com/blog/minitab-que-es-y-para-que-sirve/>.
58. **EOS DATA ANALYTICS.** EOS DATA ANALYTICS. *EOS DATA ANALYTICS.* [En línea] <https://eos.com/es/make-an-analysis/ndwi/>. [Citado el: 7 de mayo de 2023.] <https://eos.com/es/make-an-analysis/ndwi/>.
59. **R., Carmen Barreto.** *LECTURA 09: Introducción a la estadística no paramétrica (parte ii).* Universidad Los Angeles de Chimbote. Chimbote : s.n., 2011.

ANEXOS

Anexo 1: Mapas procesados en el software Arc GIS de las superficies de cuerpos acuáticos en la Intercuenca del río Chaychapampa, región Cusco desde el año 2013 al 2022.

Figura 1: Mapa de la Intercuenca del río Chaychapampa en mayo del año 2013

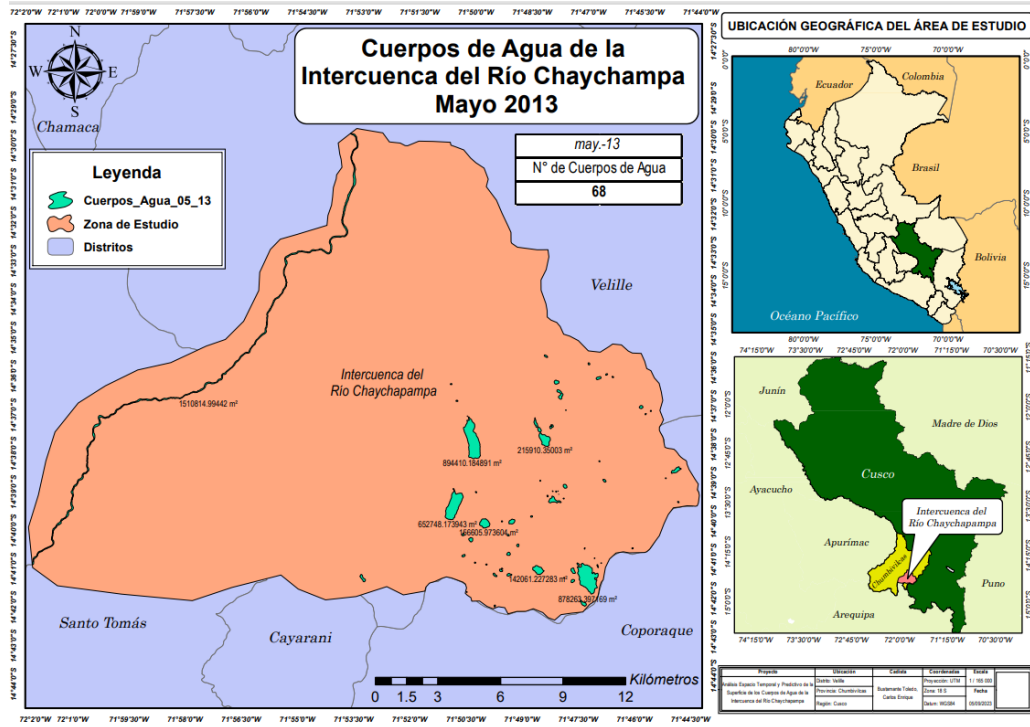


Figura 2: Mapa de la Intercuenca del río Chaychapampa en junio del año 2013

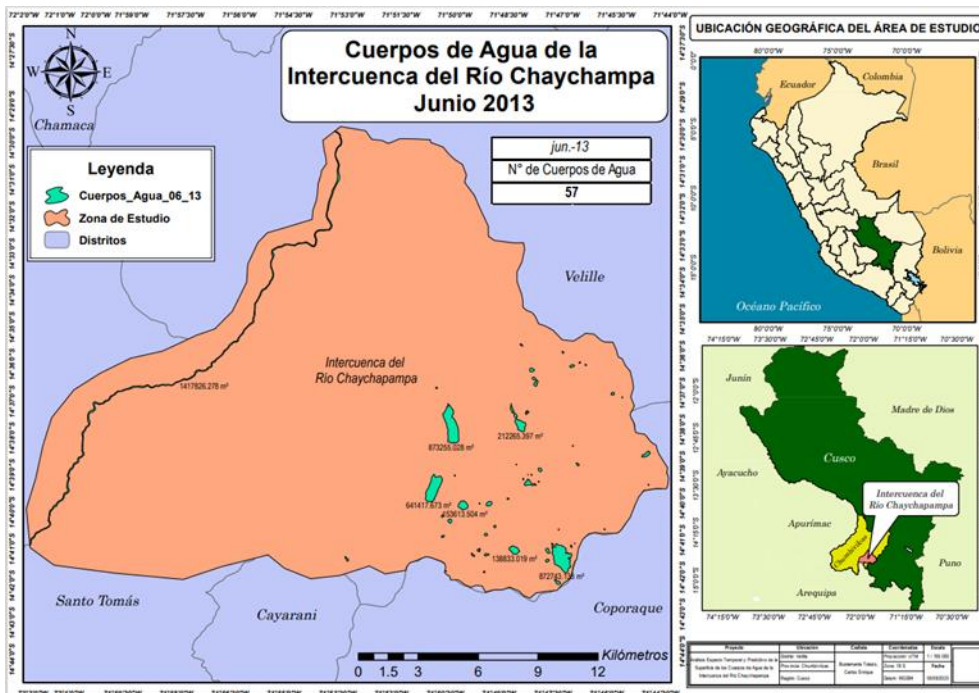


Figura 3: Mapa de la Intercuenca del río Chaychapampa en julio del año 2013

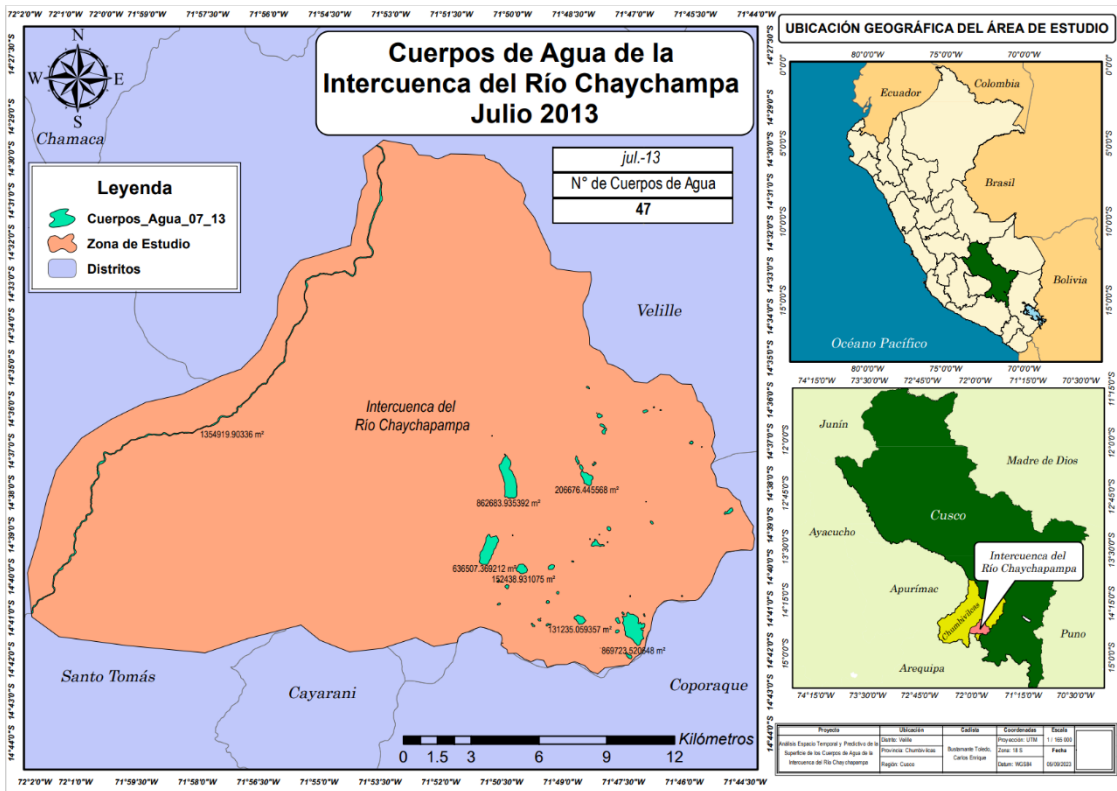


Figura 4: Mapa de la Intercuenca del río Chaychapampa en agosto del año 2013

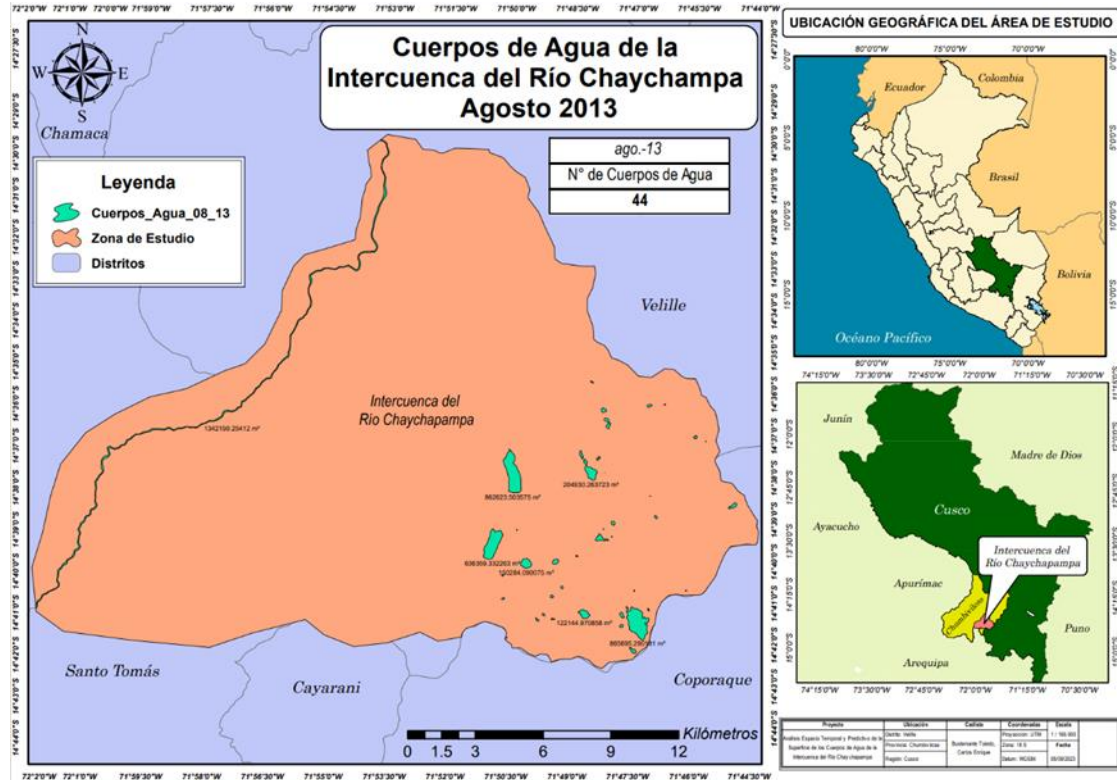


Figura 5: Mapa de la Intercuenca del río Chaychapampa en setiembre del 2013

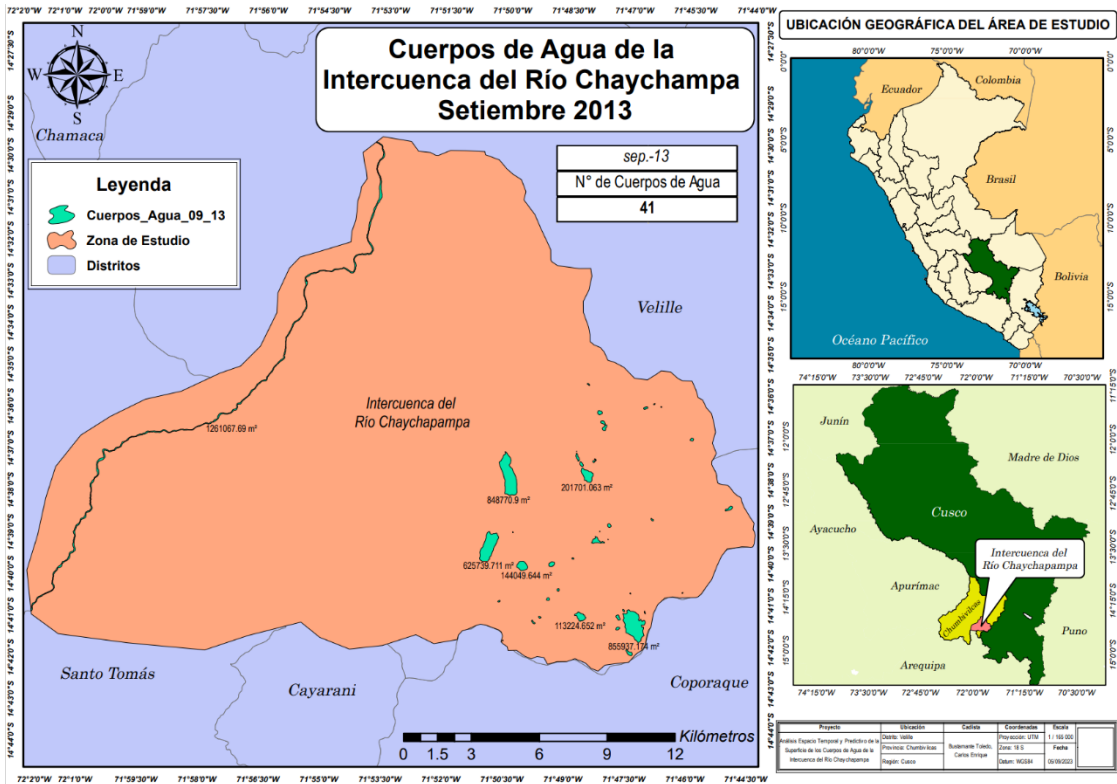


Figura 6: Mapa de la Intercuenca del río Chaychapampa en octubre del 2013

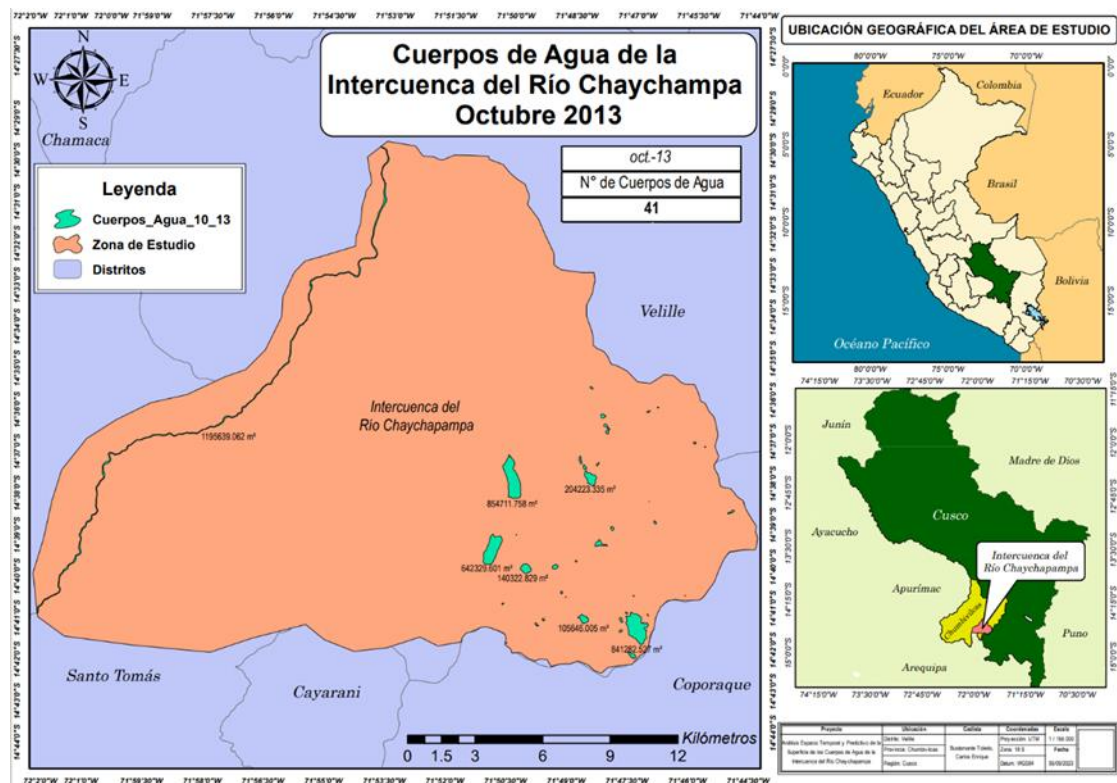


Figura 7: Mapa de la Intercuencia del río Chaychapampa en noviembre del 2013

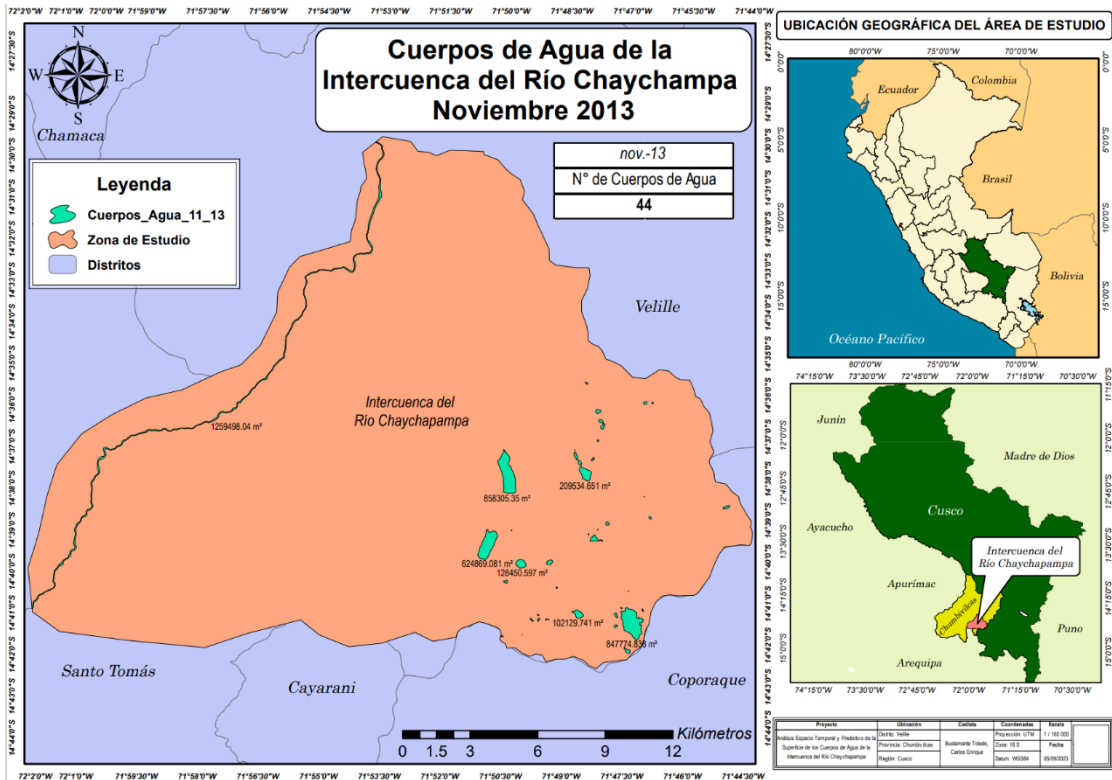


Figura 8: Mapa de la Intercuencia del río Chaychapampa en abril del año 2014

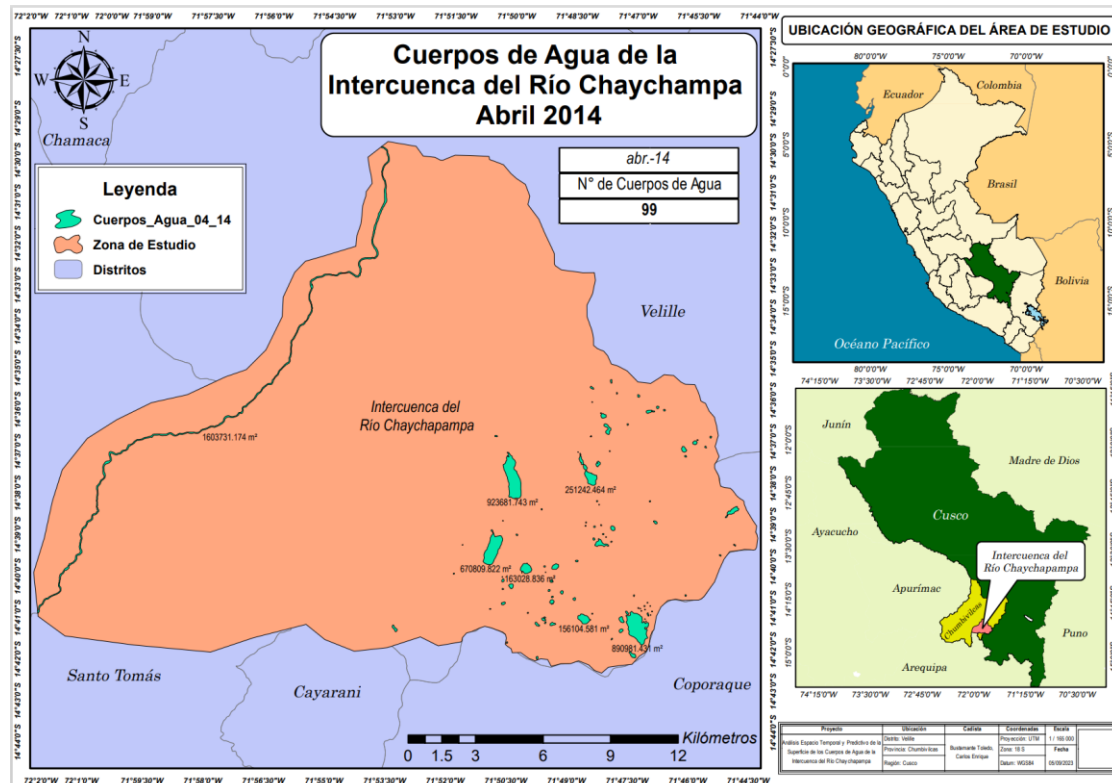


Figura 9: Mapa de la Intercuenca del río Chaychapampa en mayo del año 2014

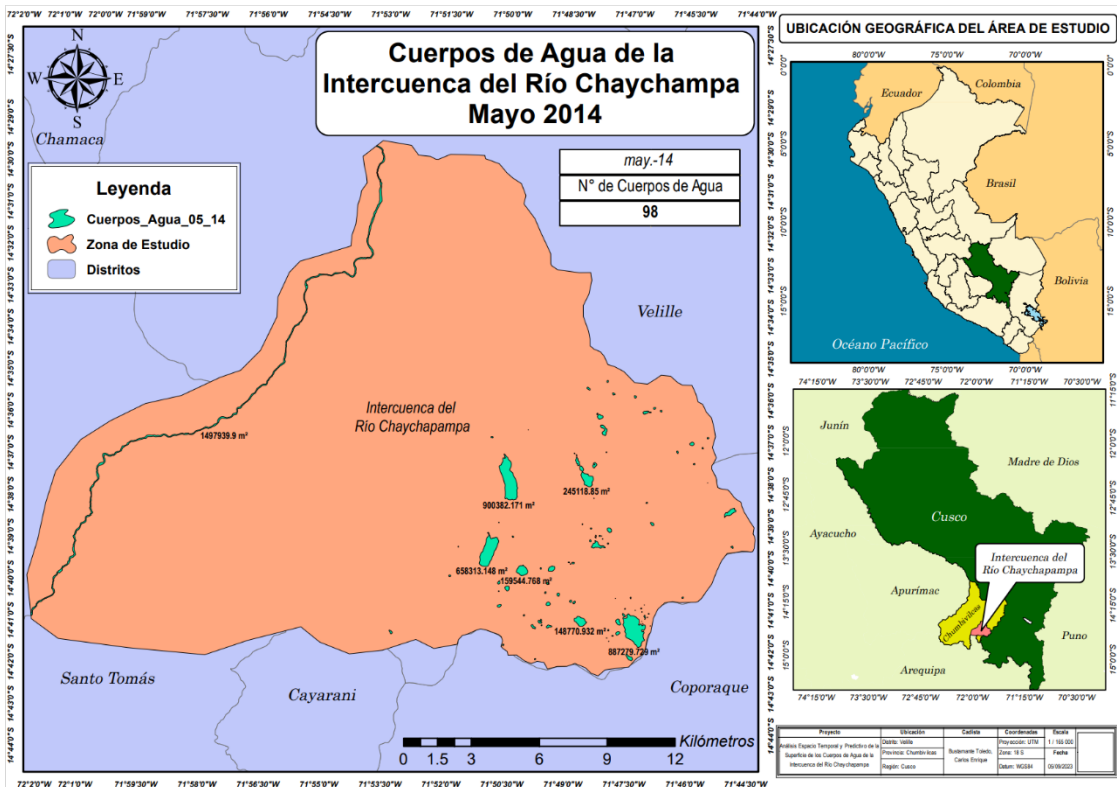


Figura 10: Mapa de la Intercuenca del río Chaychapampa en junio del año 2014

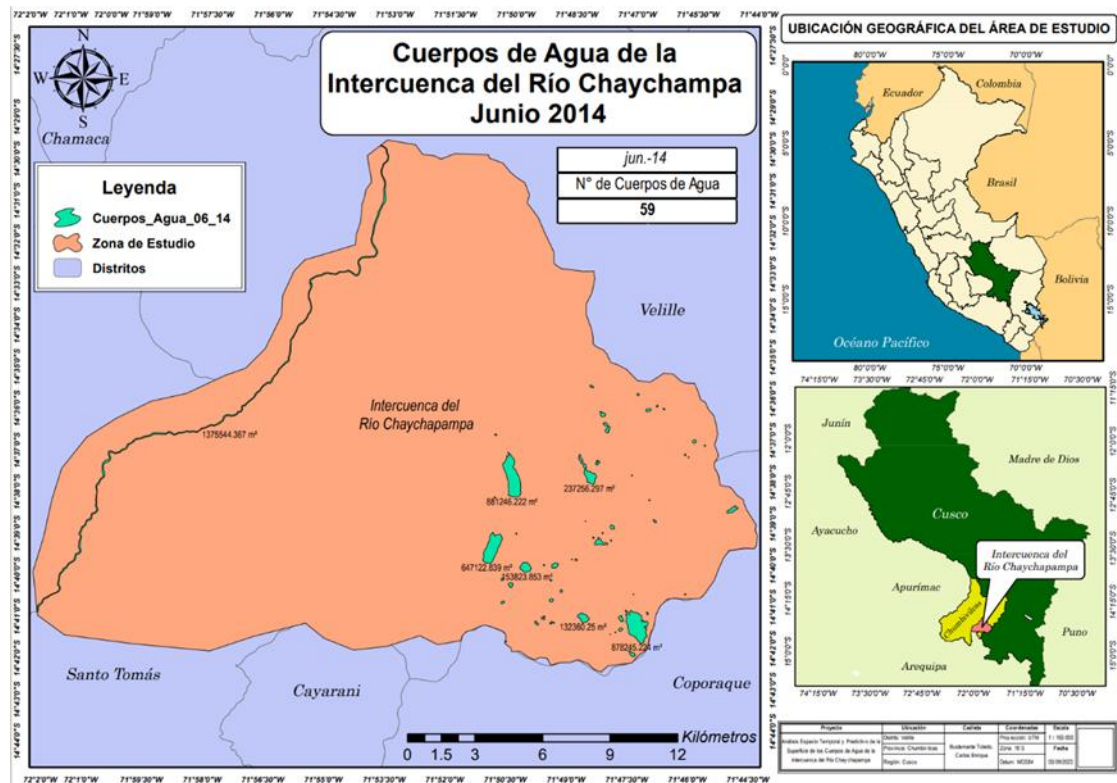


Figura 11: Mapa de la Intercuencia del río Chaychapampa en agosto del año 2014

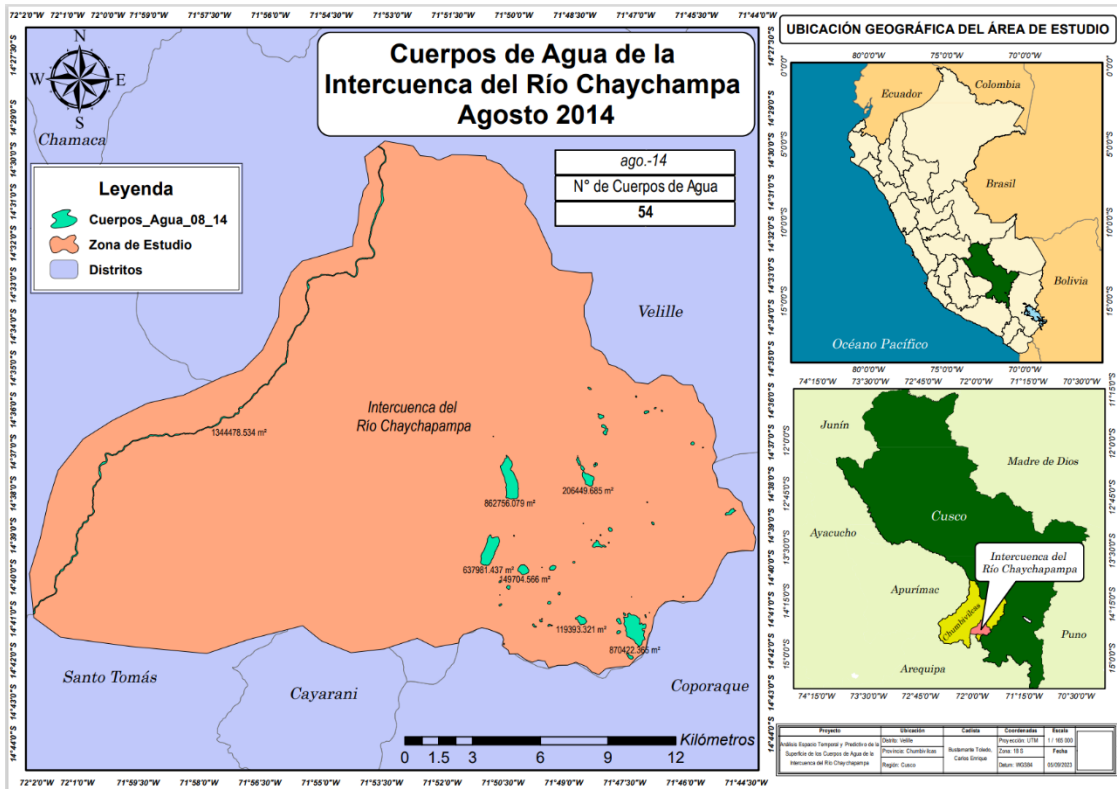


Figura 12: Mapa de la Intercuencia del río Chaychapampa en noviembre del año 2014

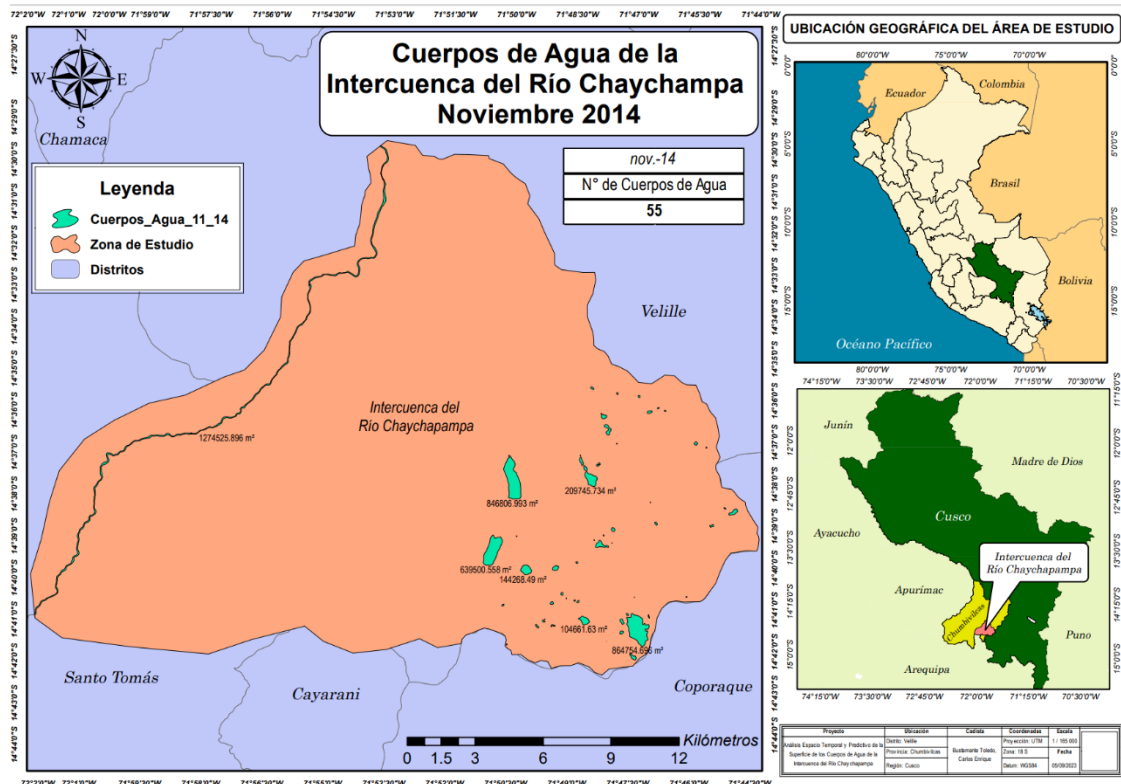


Figura 13: Mapa de la Intercuencia del río Chaychapampa en diciembre del 2014

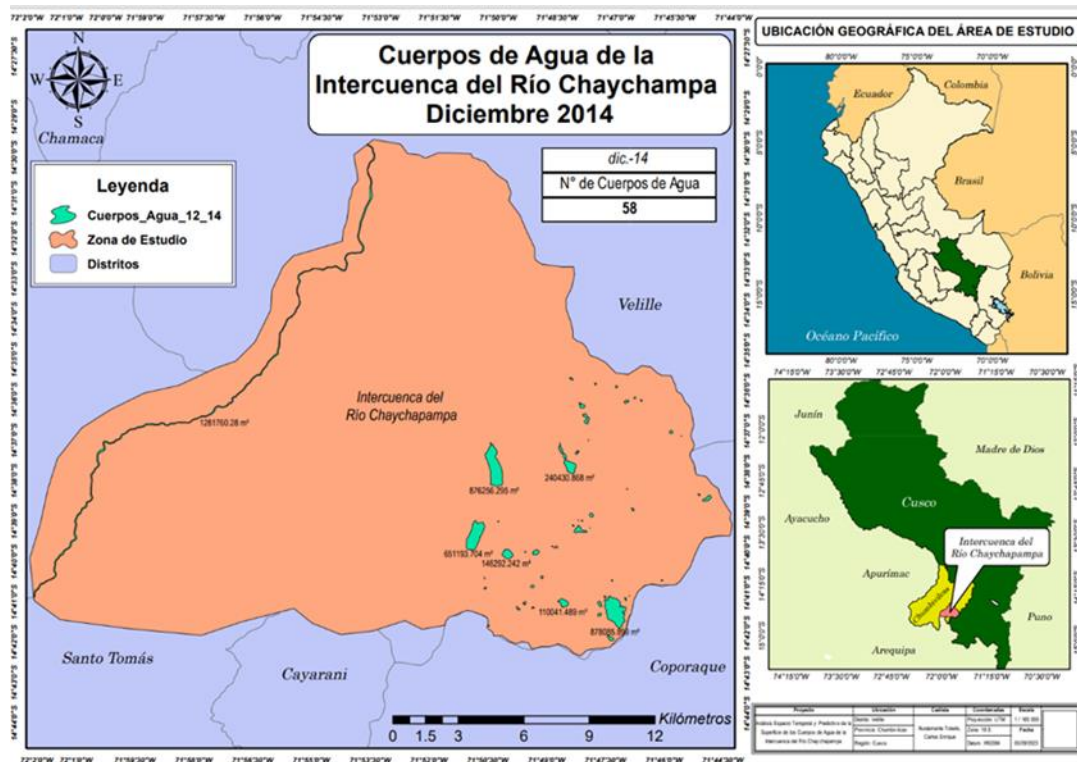


Figura 14: Mapa de la Intercuencia del río Chaychapampa en junio del 2015

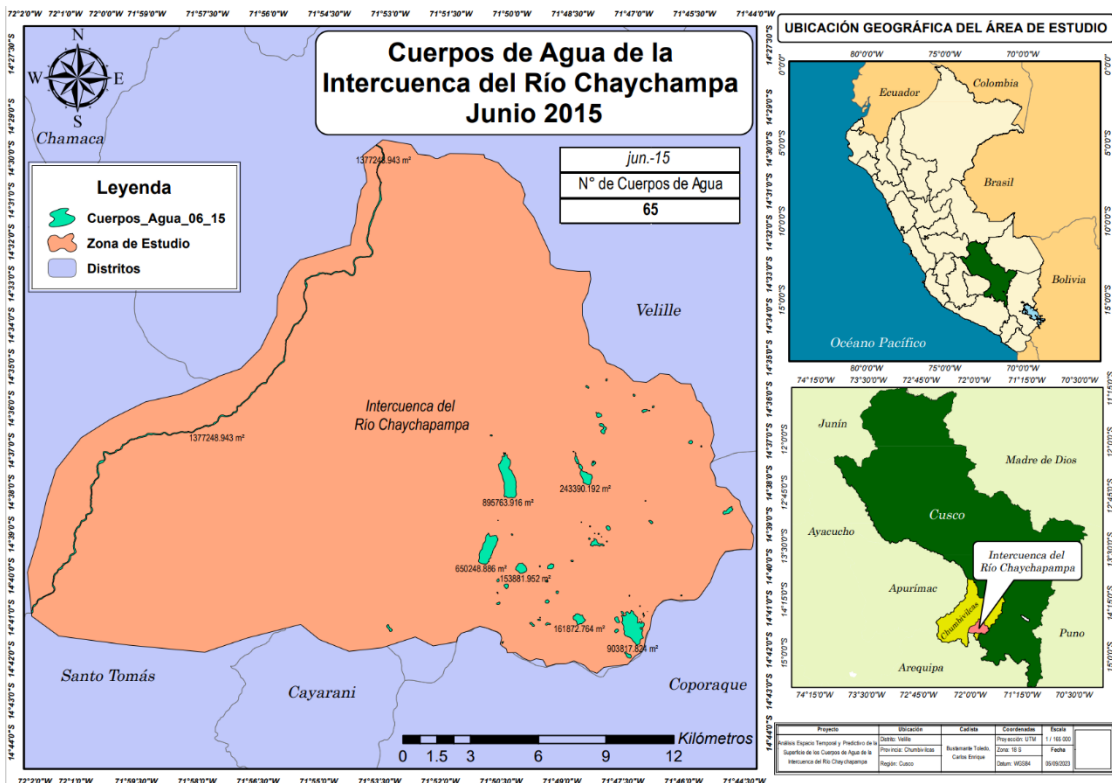


Figura 15: Mapa de la Intercuencia del río Chaychapampa en junio del 2015

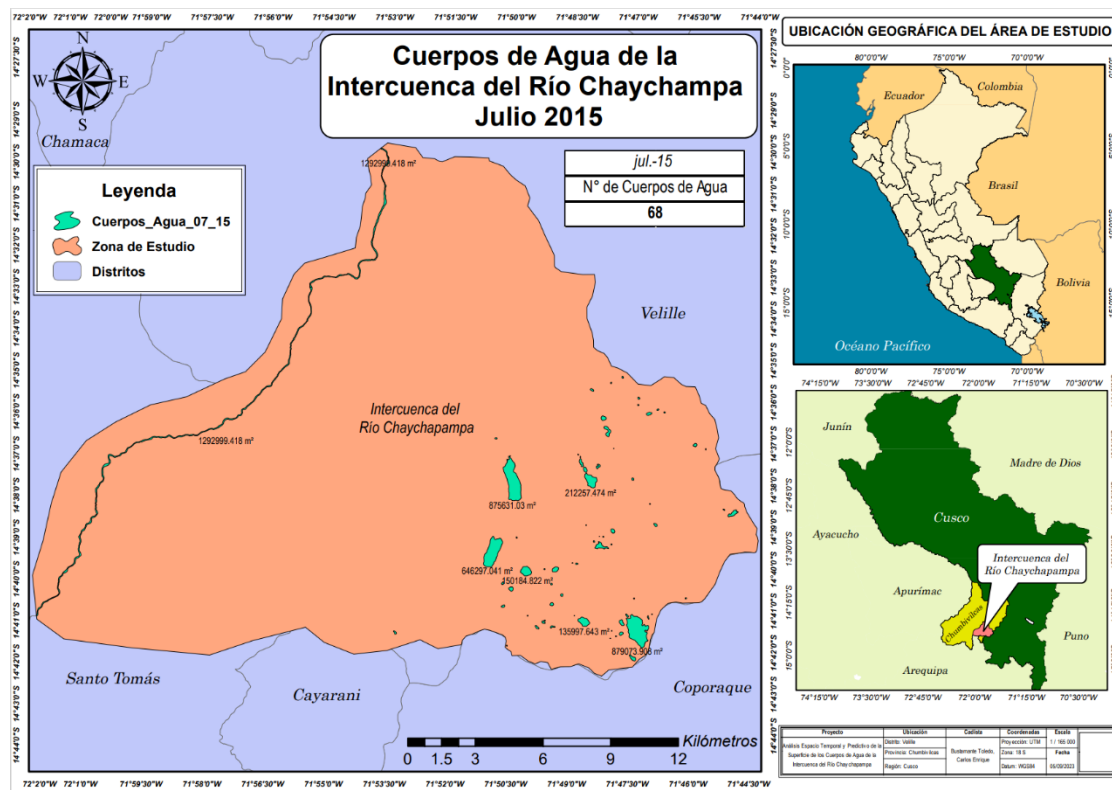


Figura 16: Mapa de la Intercuencia del río Chaychapampa en agosto del 2015

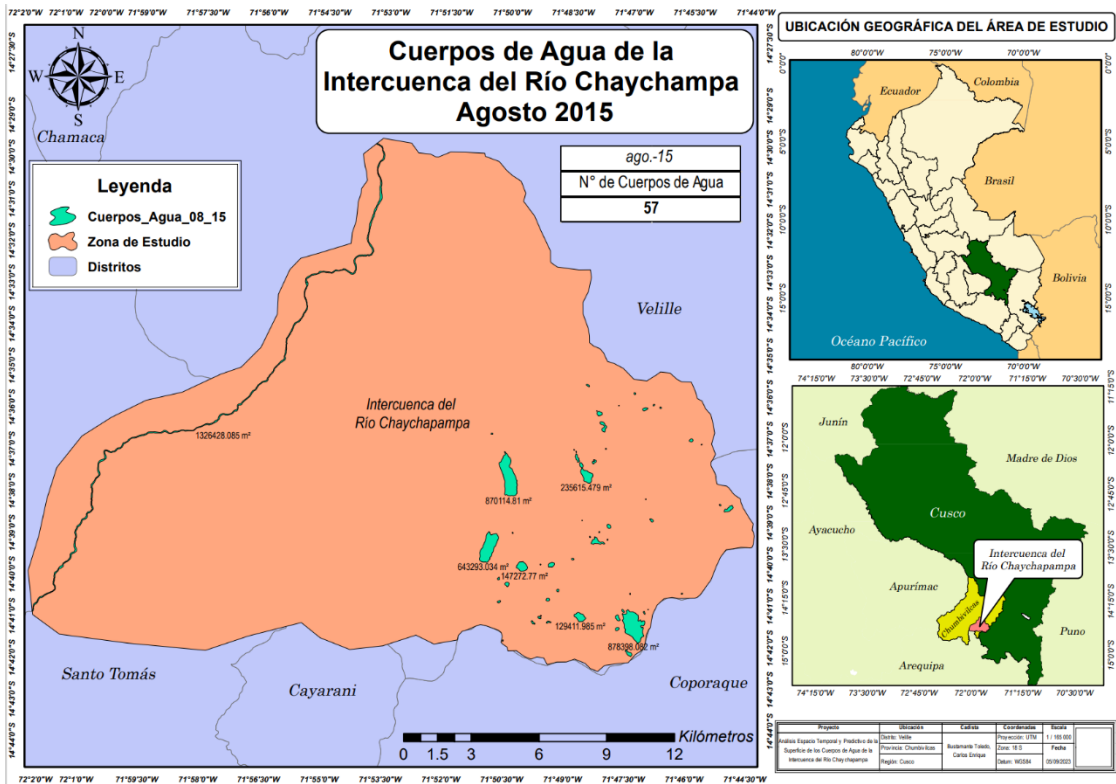


Figura 17: Mapa de la Intercuencia del río Chaychapampa en setiembre del 2015

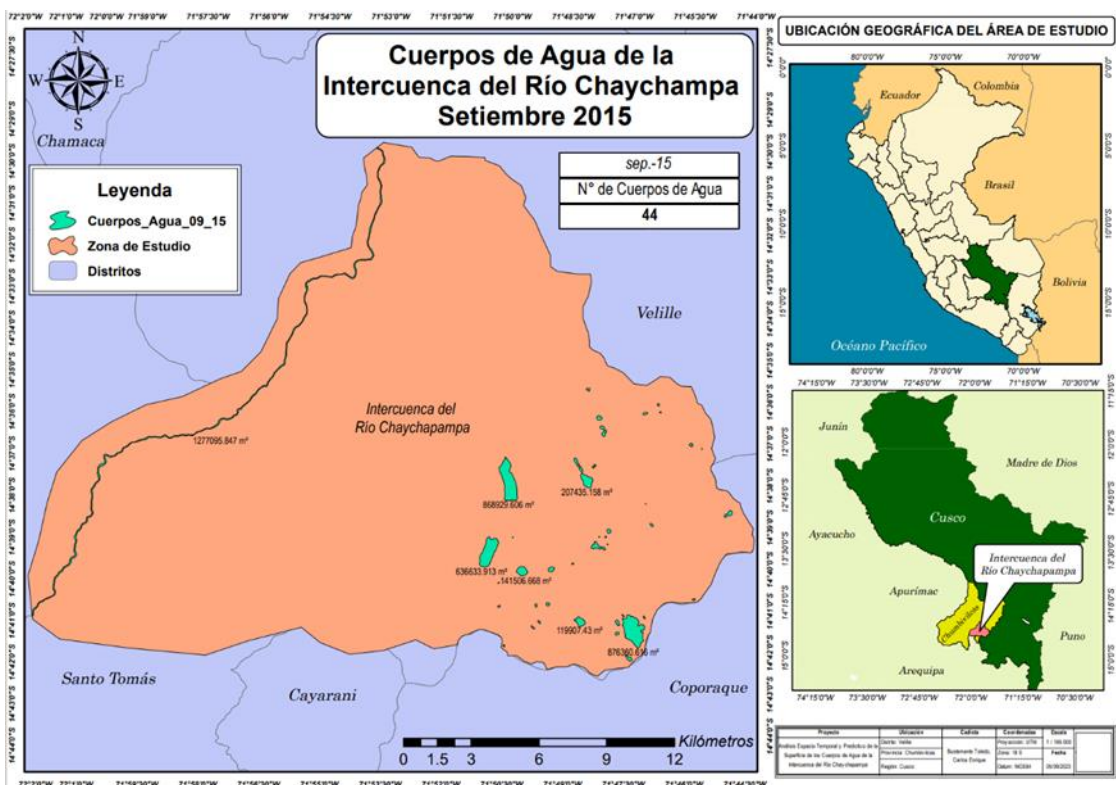


Figura 18: Mapa de la Intercuencia del río Chaychapampa en octubre 2015

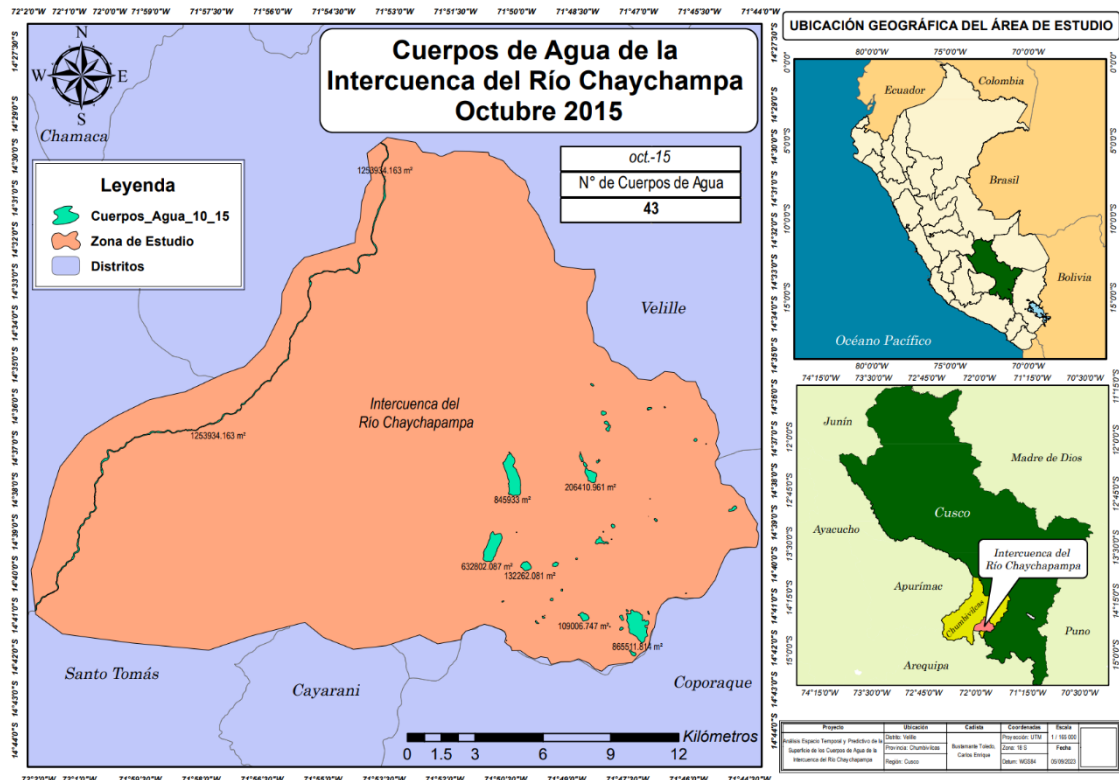


Figura 19: Mapa de la Intercuencia del río Chaychapampa en mayo del 2016

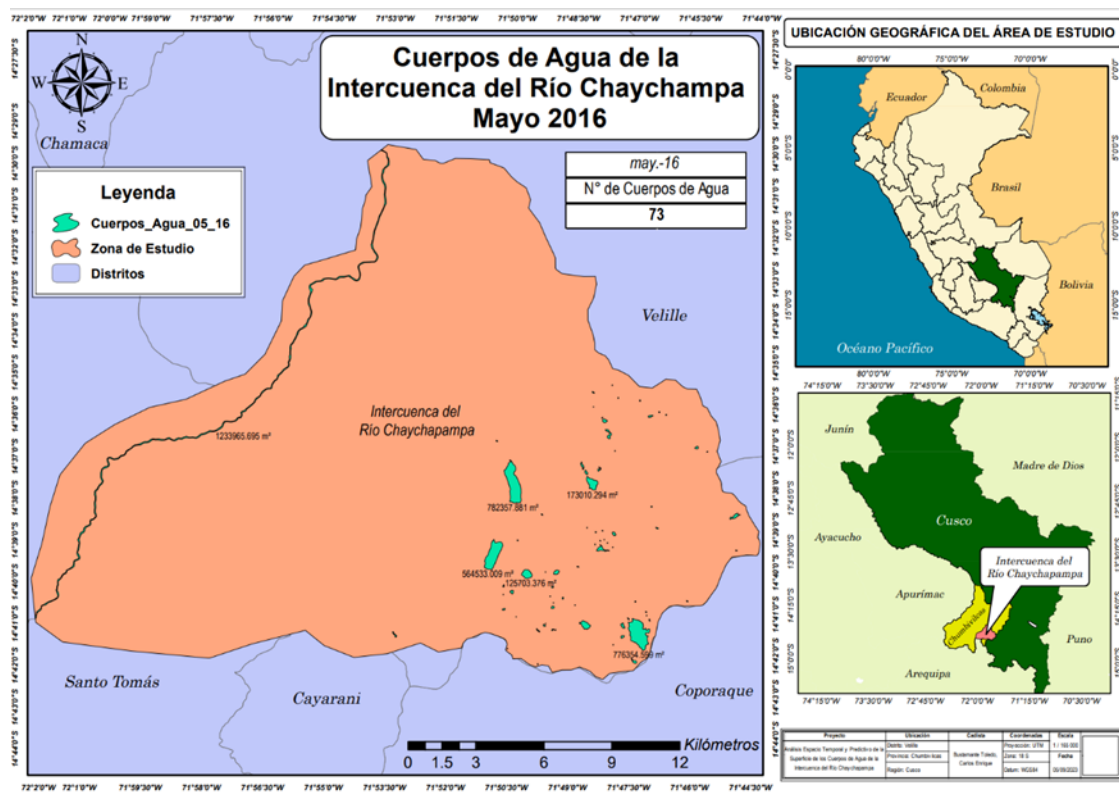


Figura 20: Mapa de la Intercuencia del río Chaychapampa en junio del 2016

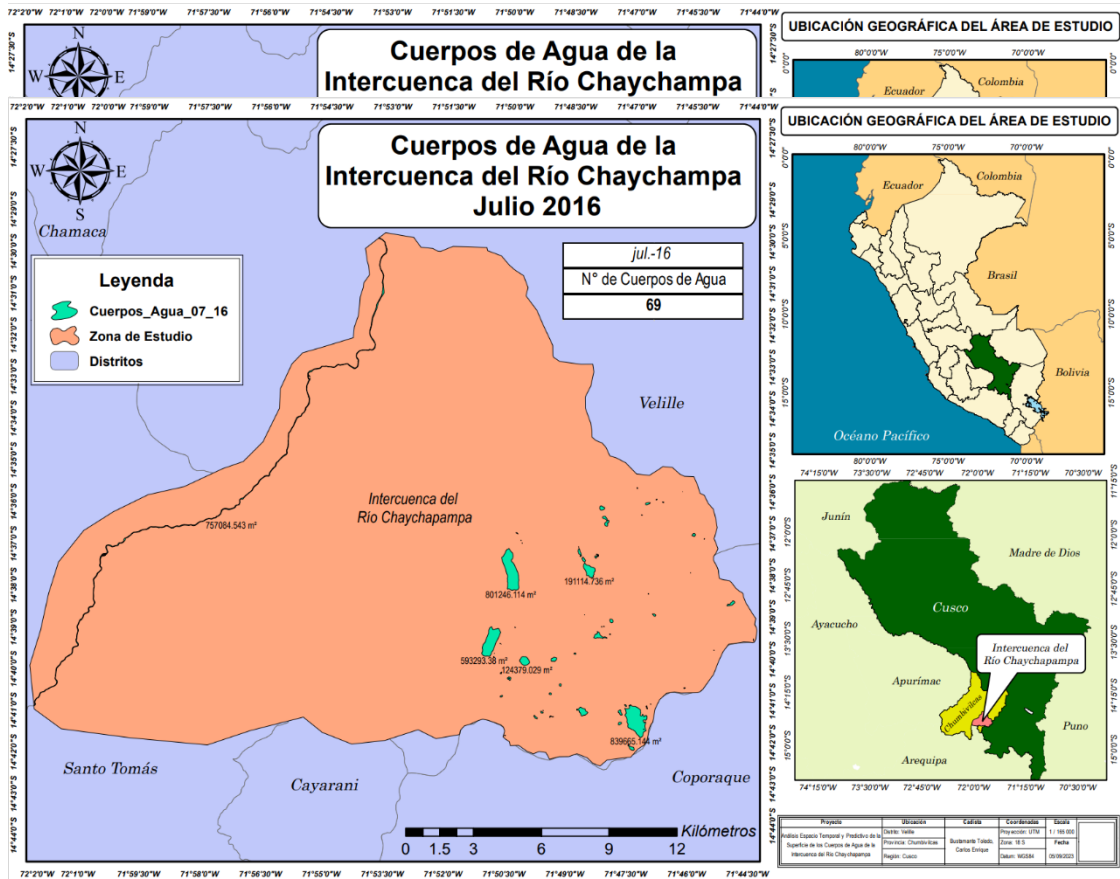


Figura 21: Mapa de la Intercuencia del río Chaychapampa en julio del 2016

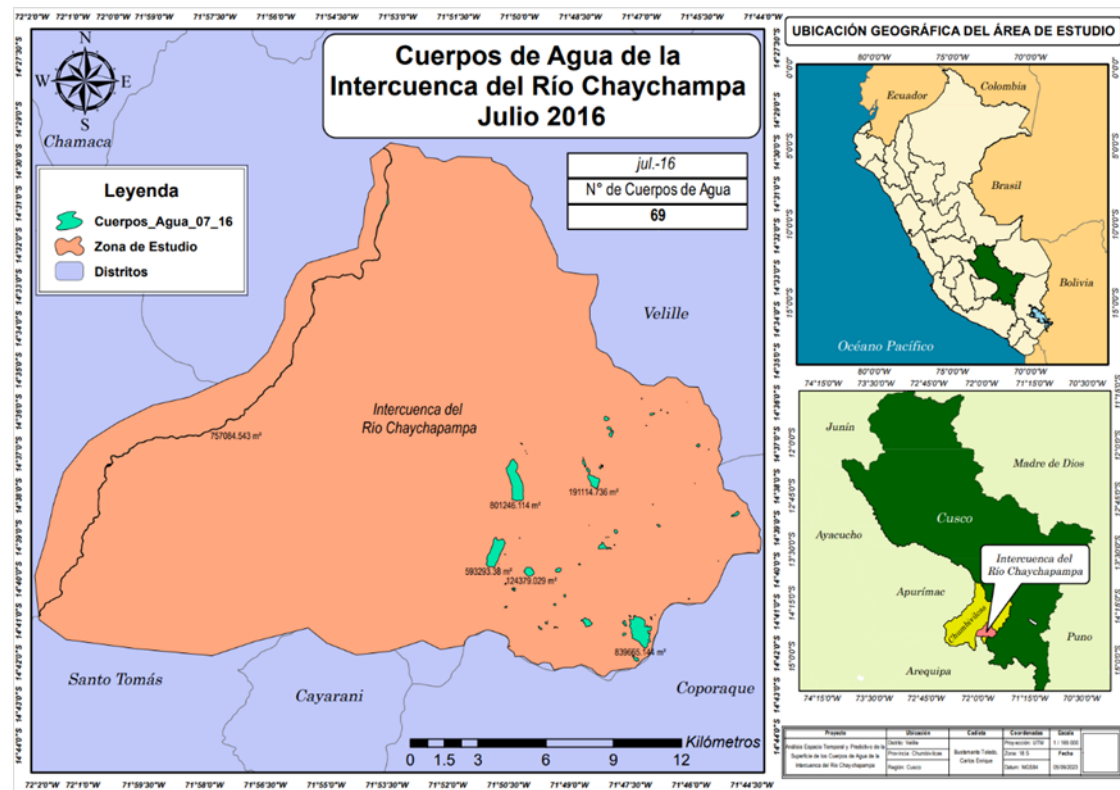


Figura 22: Mapa de la Intercuencia del río Chaychapampa en agosto del 2016

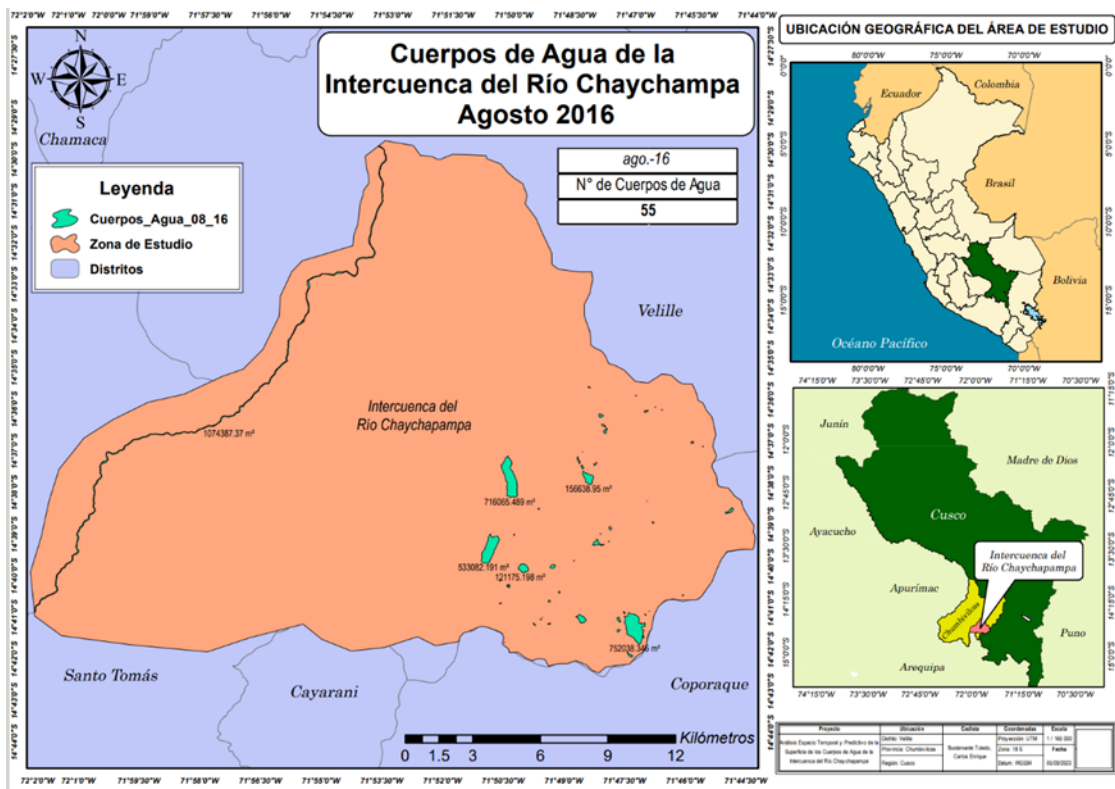


Figura 23: Mapa de la Intercuencia del río Chaychapampa en setiembre del 2016

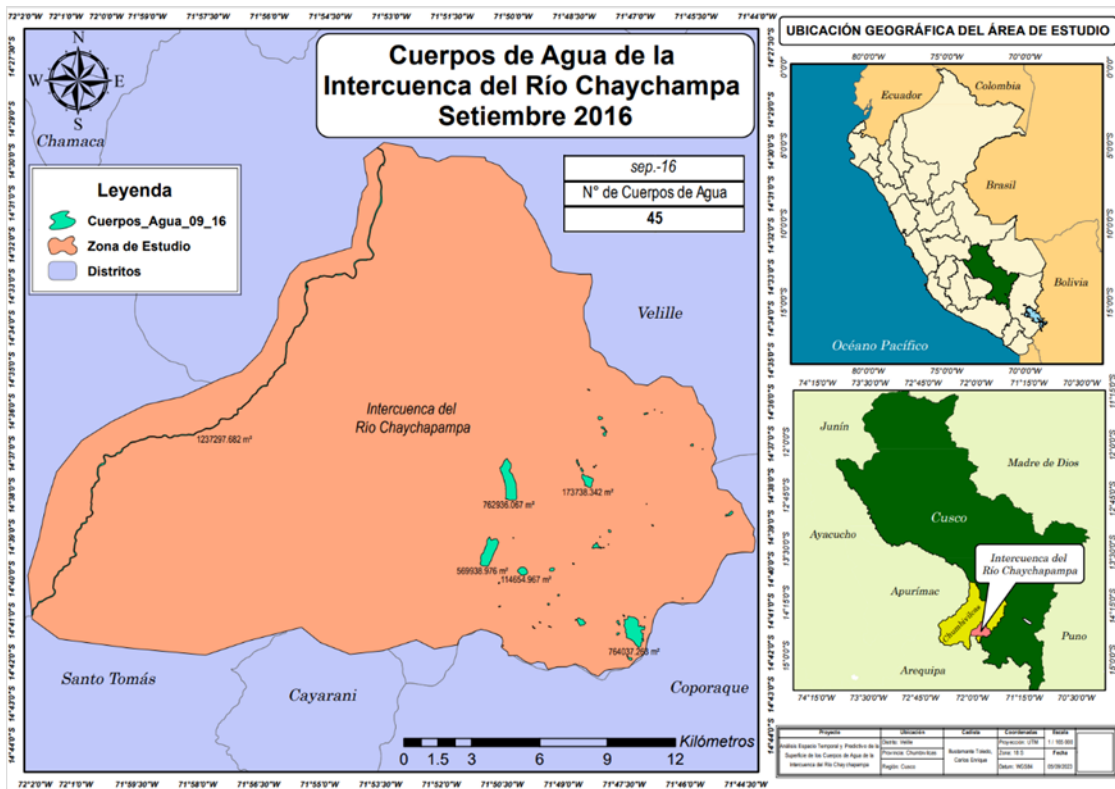


Figura 24: Mapa de la Intercuencia del río Chaychapampa en octubre del 2016

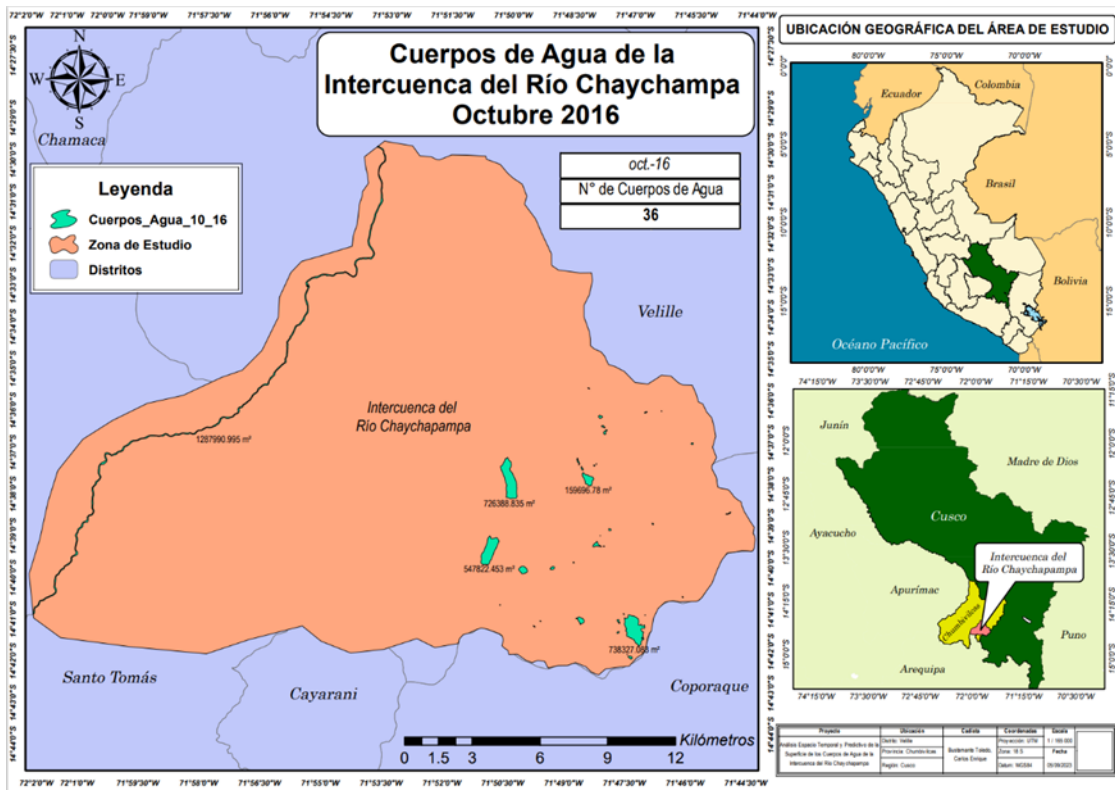


Figura 25: Mapa de la Intercuencia del río Chaychapampa en noviembre del 2016

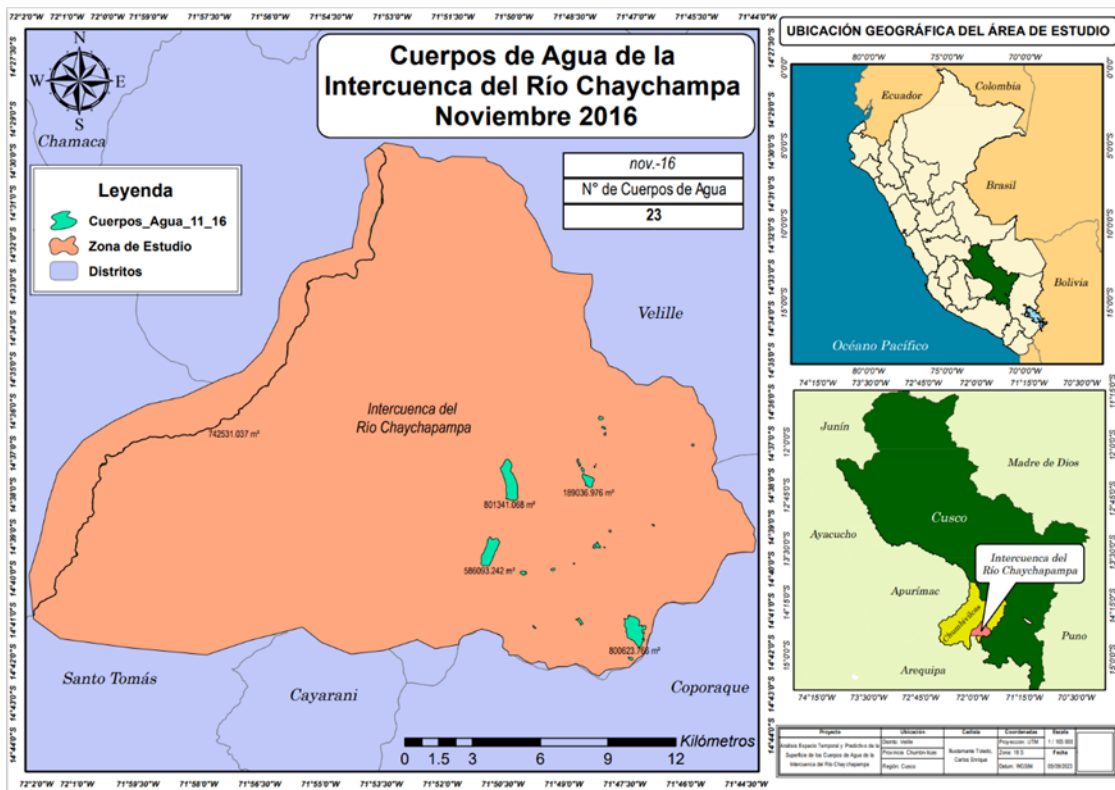


Figura 26: Mapa de la Intercuencia del río Chaychapampa en febrero del 2017

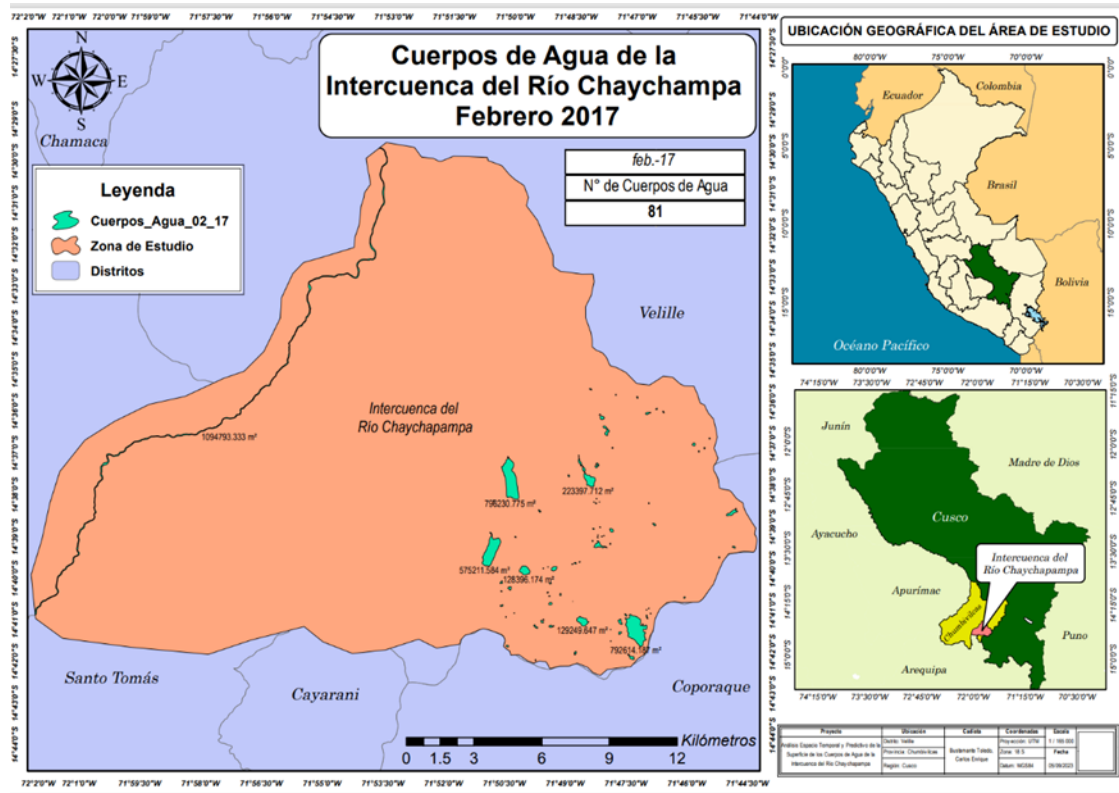


Figura 27: Mapa de la Intercuencia del río Chaychapampa en abril del 2017

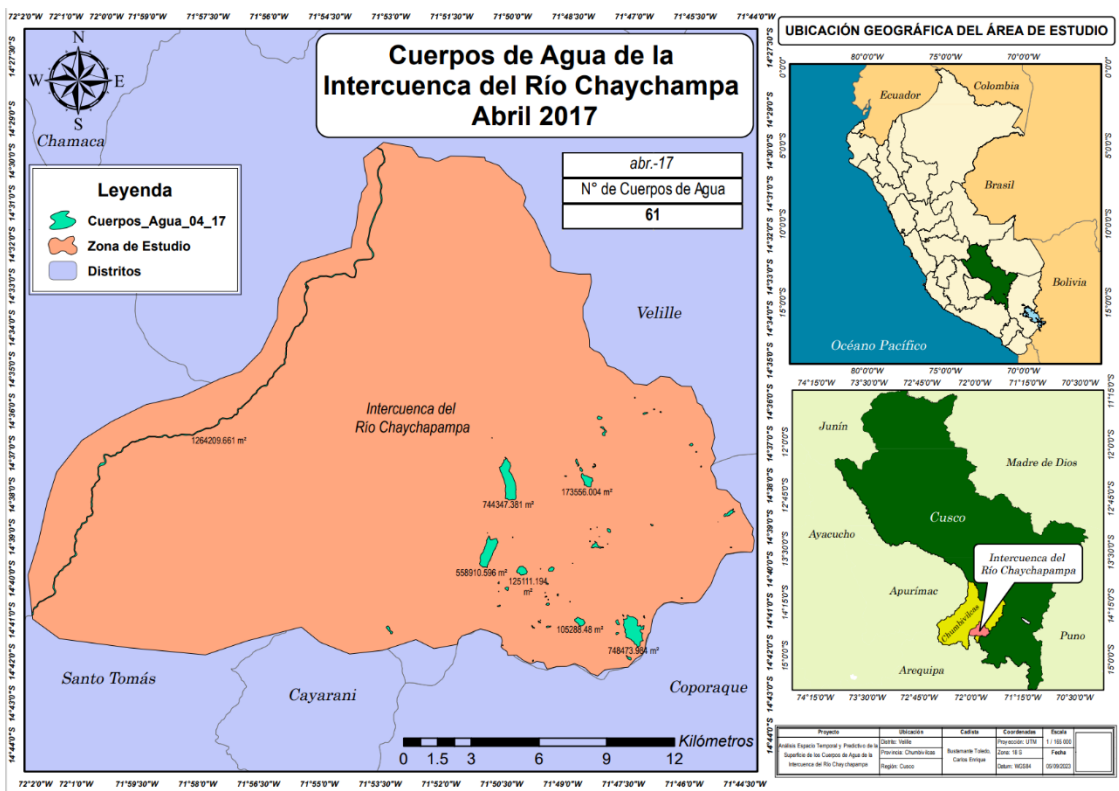


Figura 28: Mapa de la Intercuencia del río Chaychapampa en mayo del 2017

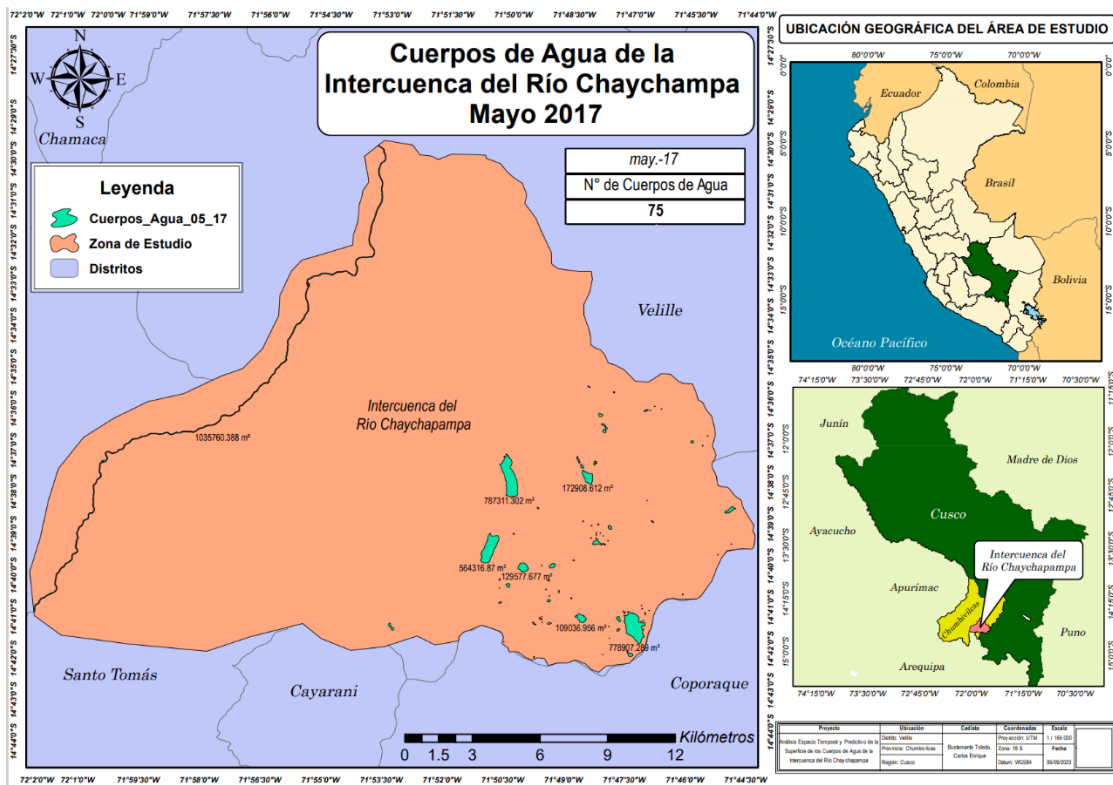


Figura 29: Mapa de la Intercuencia del río Chaychapampa en junio del 2017

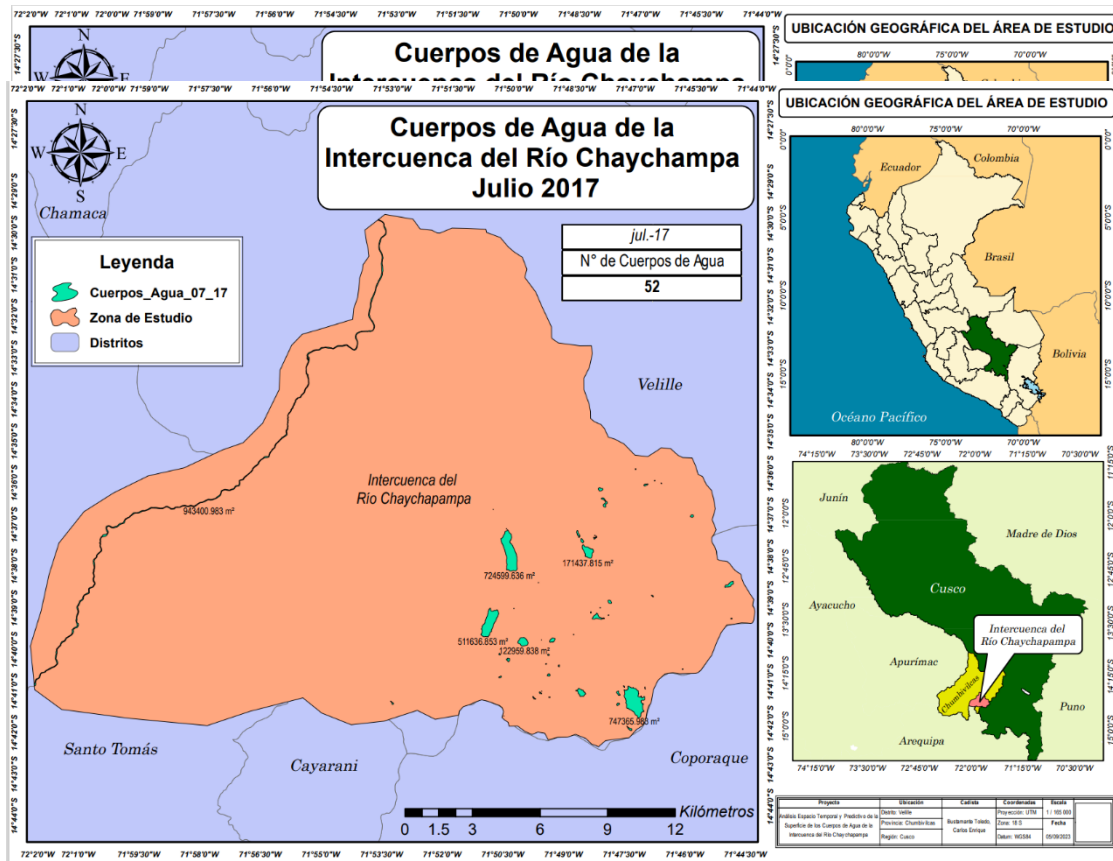


Figura 30: Mapa de la Intercuencia del río Chaychapampa en julio del 2017

Figura 31: Mapa de la Intercuencia del río Chaychapampa en setiembre del 2017

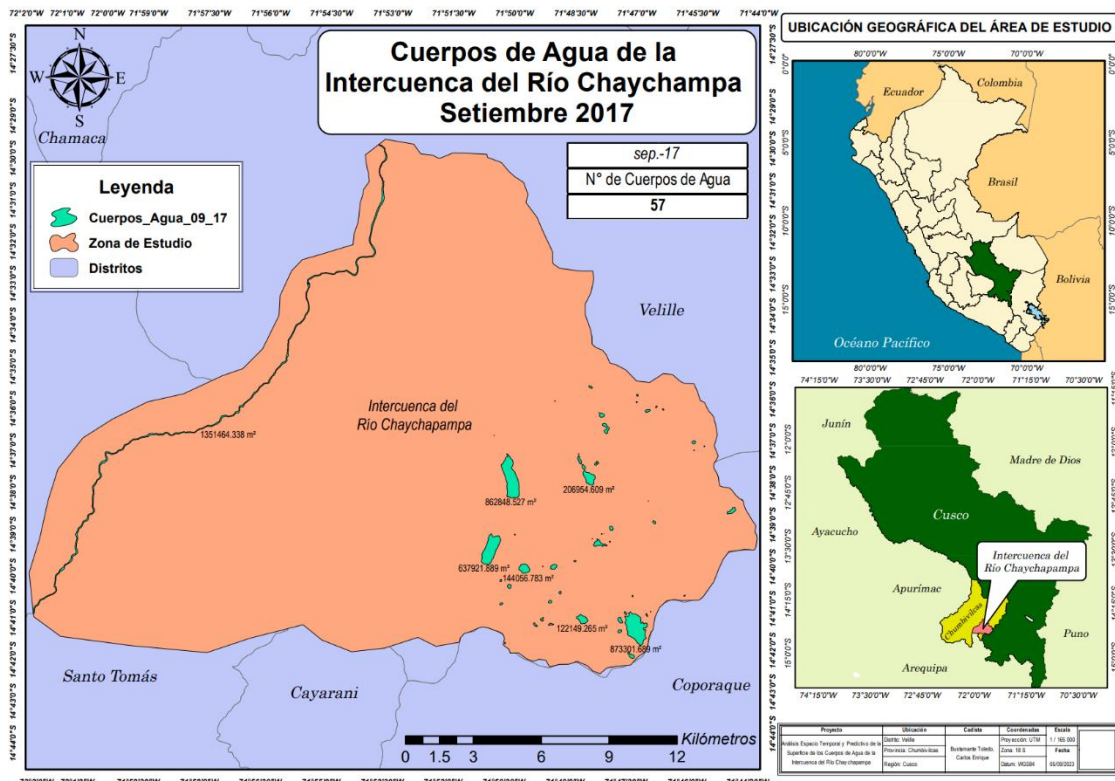


Figura 32: Mapa de la Intercuencia del río Chaychapampa en abril del 2018

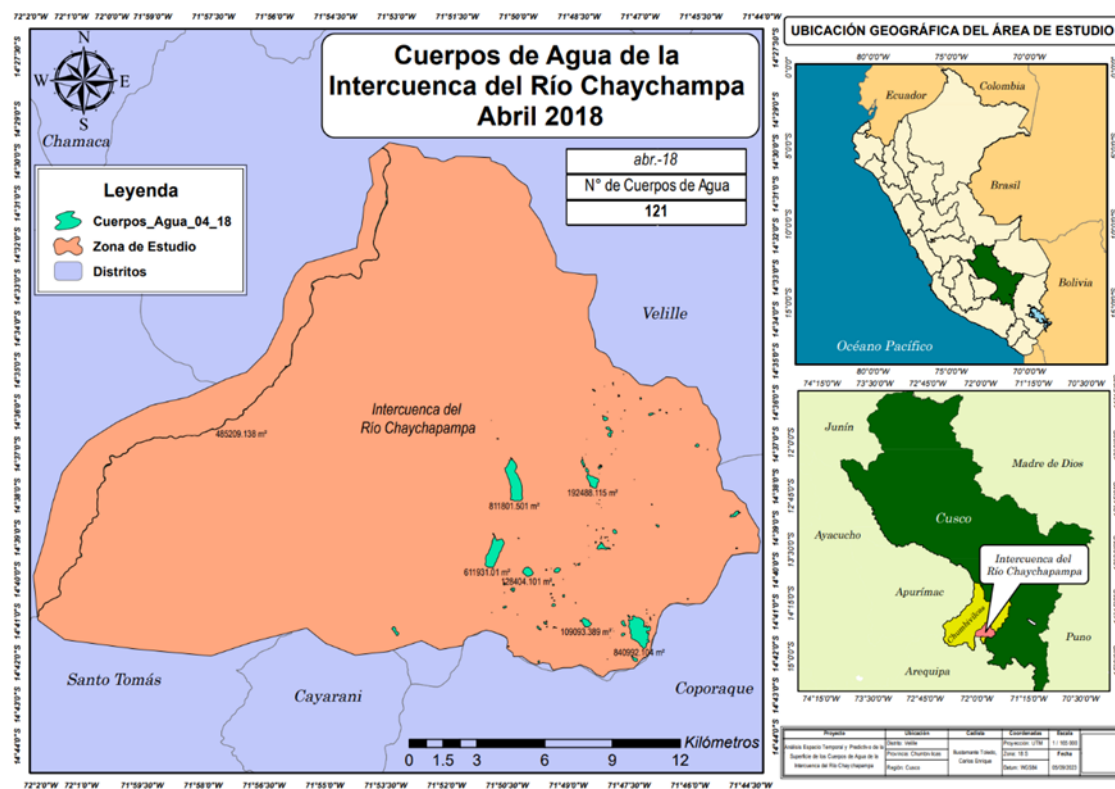


Figura 33: Mapa de la Intercuencia del río Chaychapampa en mayo del 2018

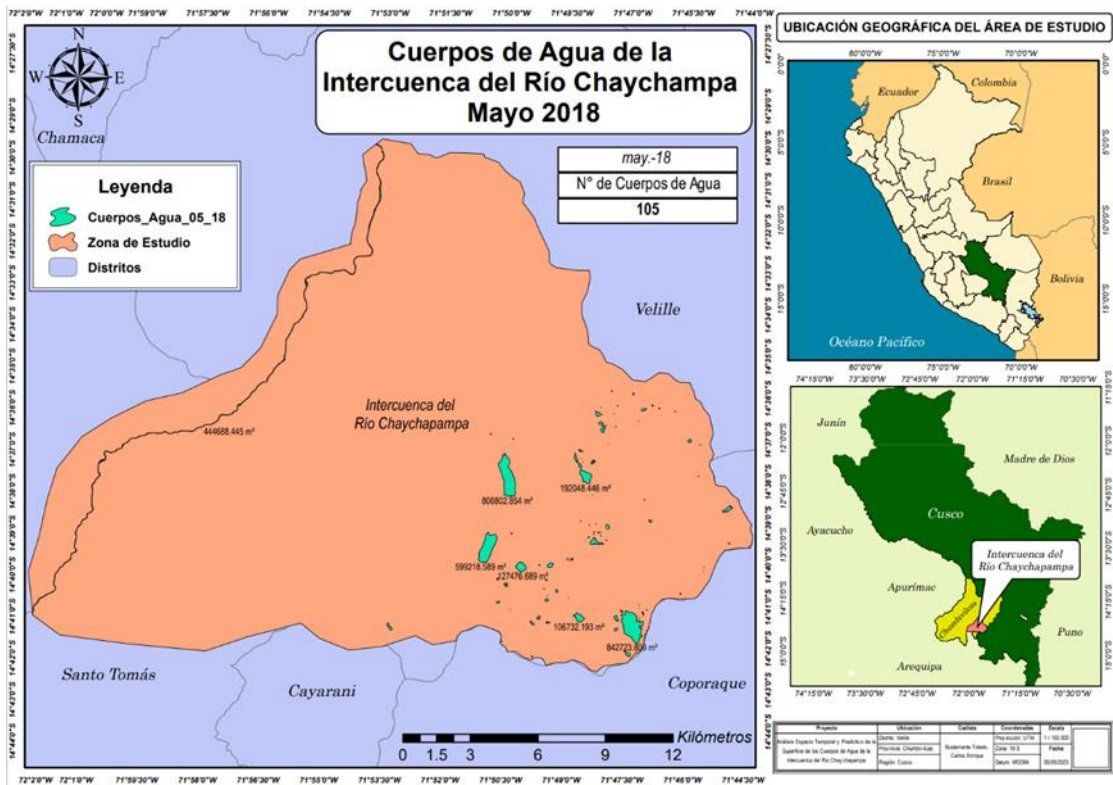


Figura 34: Mapa de la Intercuencia del río Chaychapampa en junio del 2018

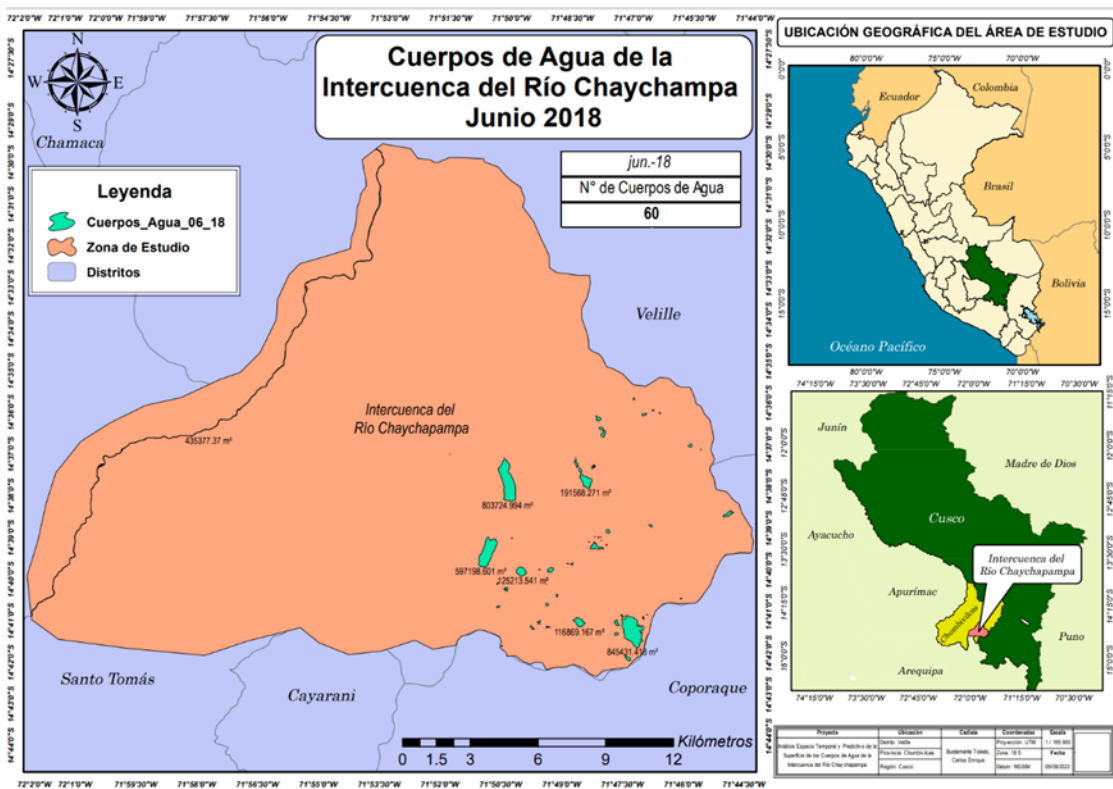


Figura 35: Mapa de la Intercuencia del río Chaychapampa en julio del 2018

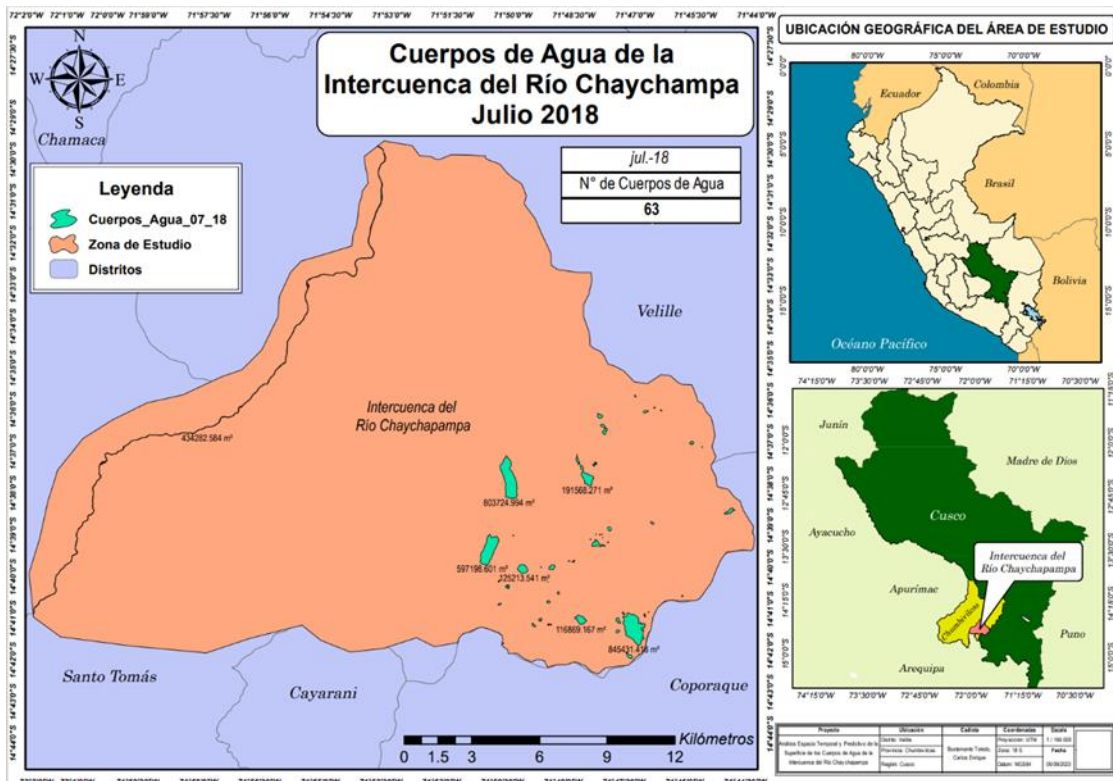


Figura 36: Mapa de la Intercuencia del río Chaychapampa en agosto del 2018

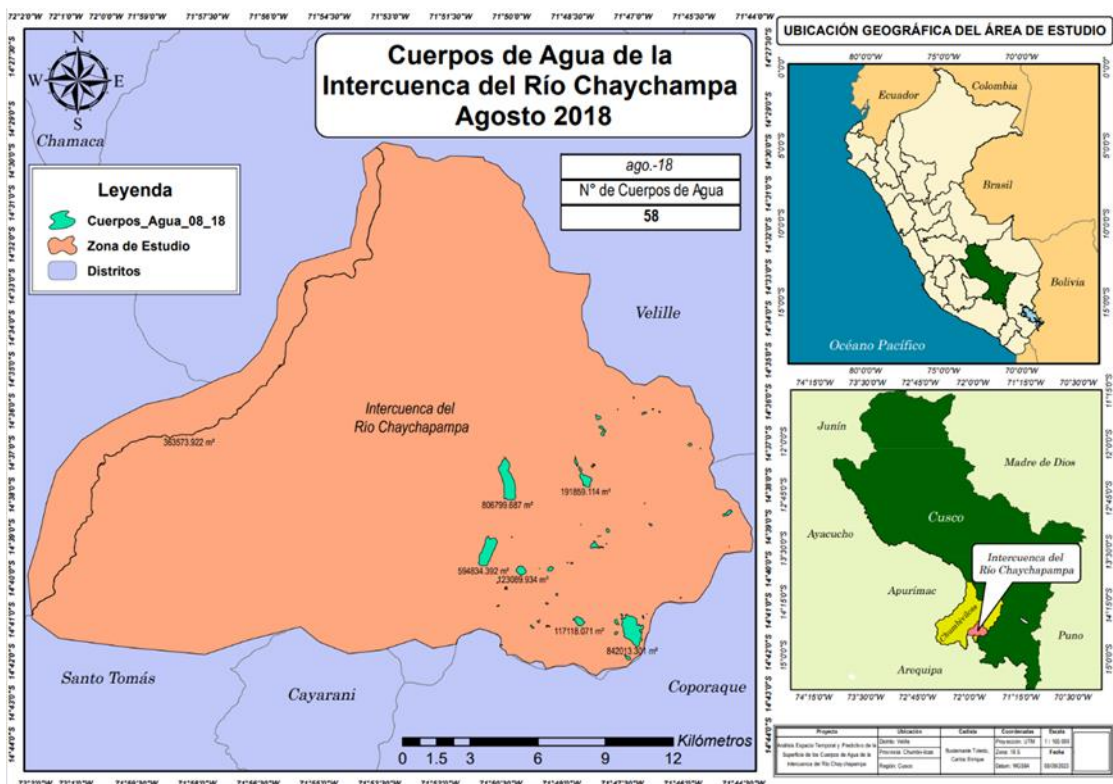


Figura 37: Mapa de la Intercuencia del río Chaychapampa en setiembre del 2018

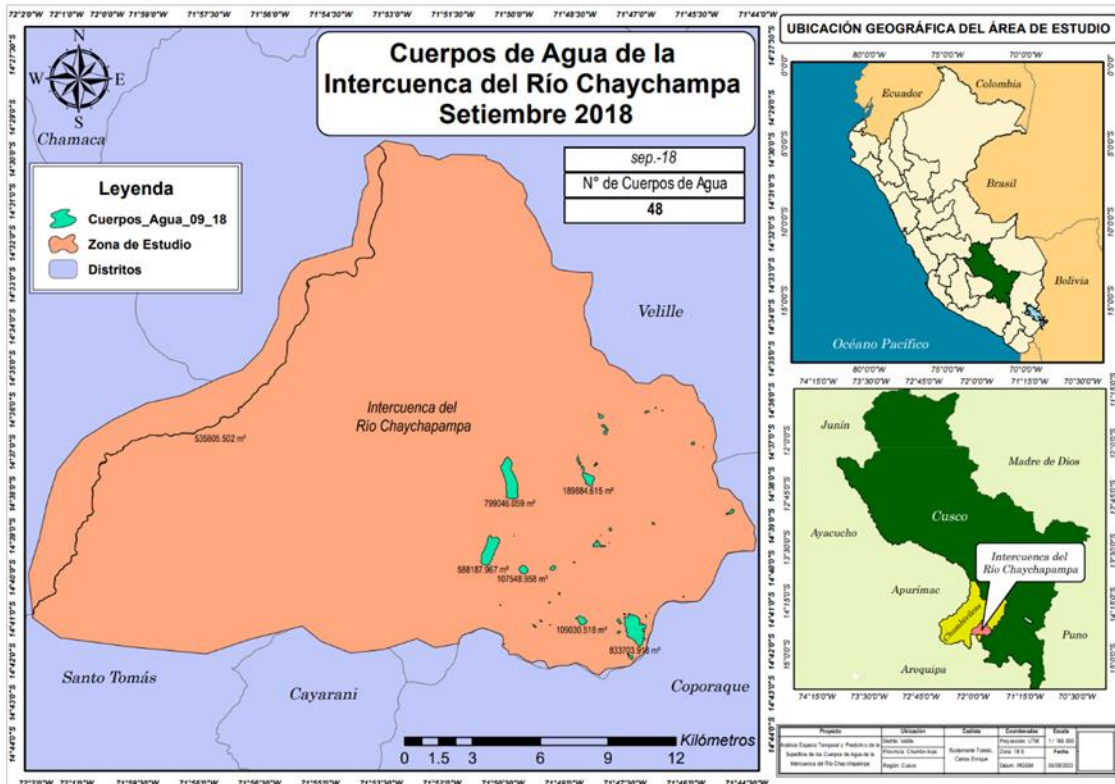


Figura 38: Mapa de la Intercuencia del río Chaychampa en noviembre del 2018

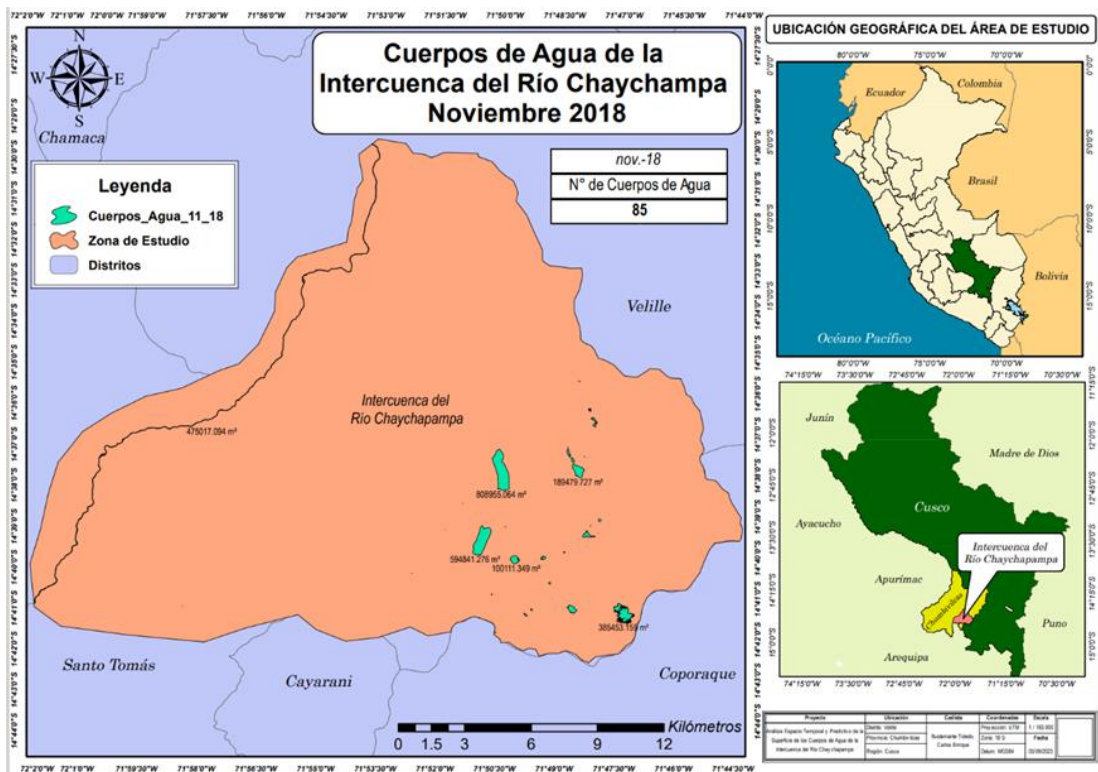


Figura 39: Mapa de la Intercuencia del río Chaychampa en abril del 2019

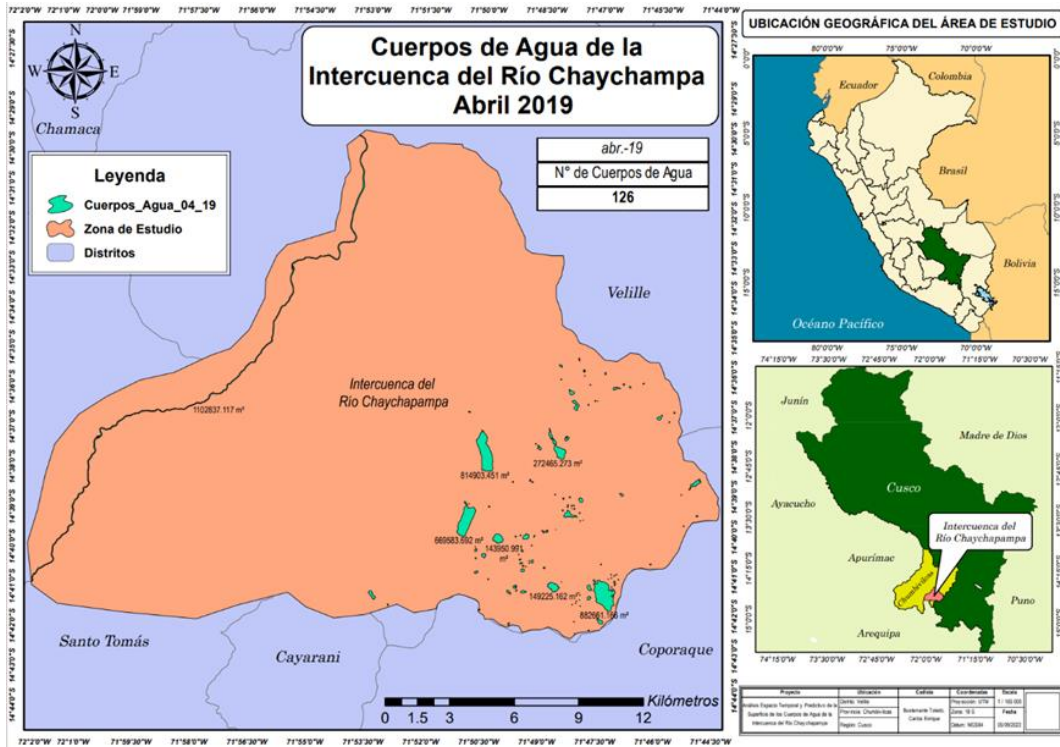


Figura 40: Mapa de la Intercuenca del río Chaychaypampa en mayo del 2019

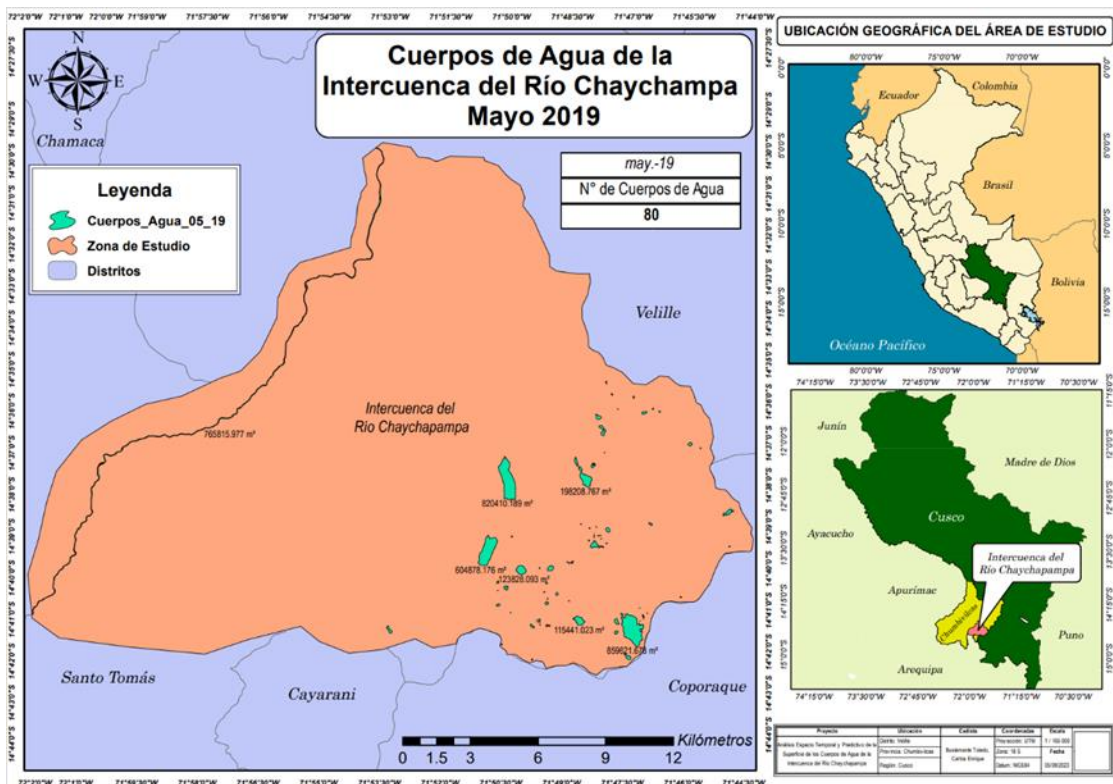


Figura 41: Mapa de la Intercuenca del río Chaychaypampa en junio del 2019

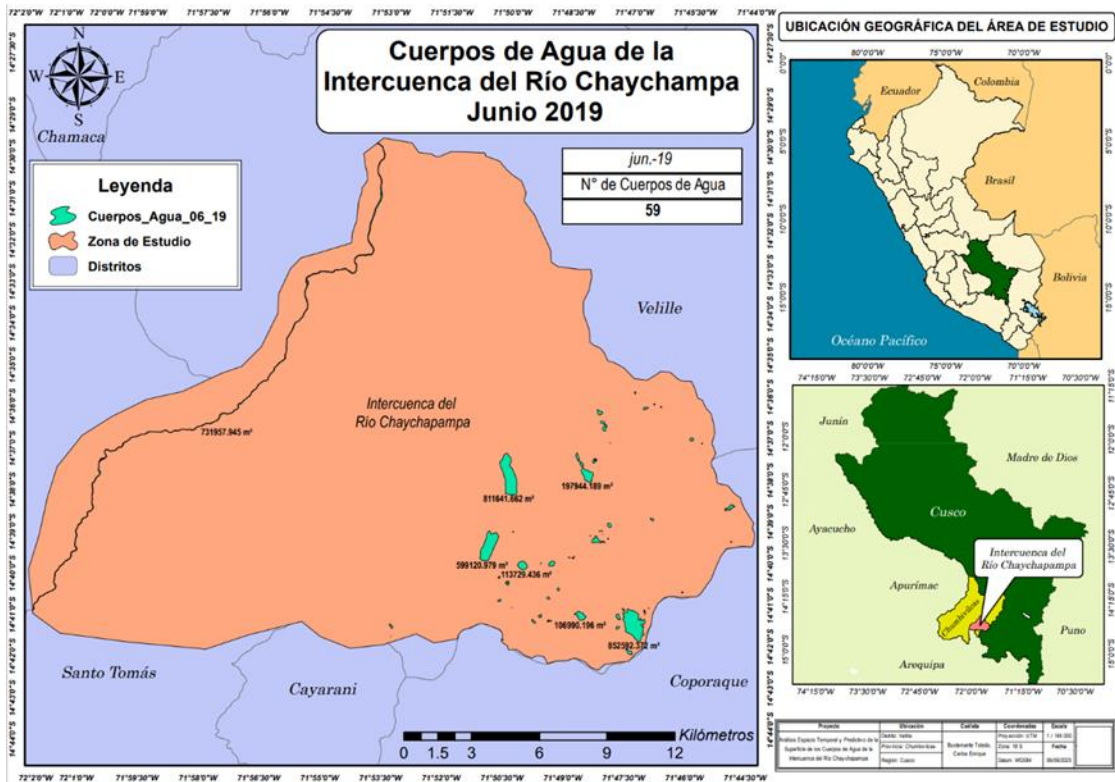


Figura 42: Mapa de la Intercuenca del río Chaychamapa en julio del 2019

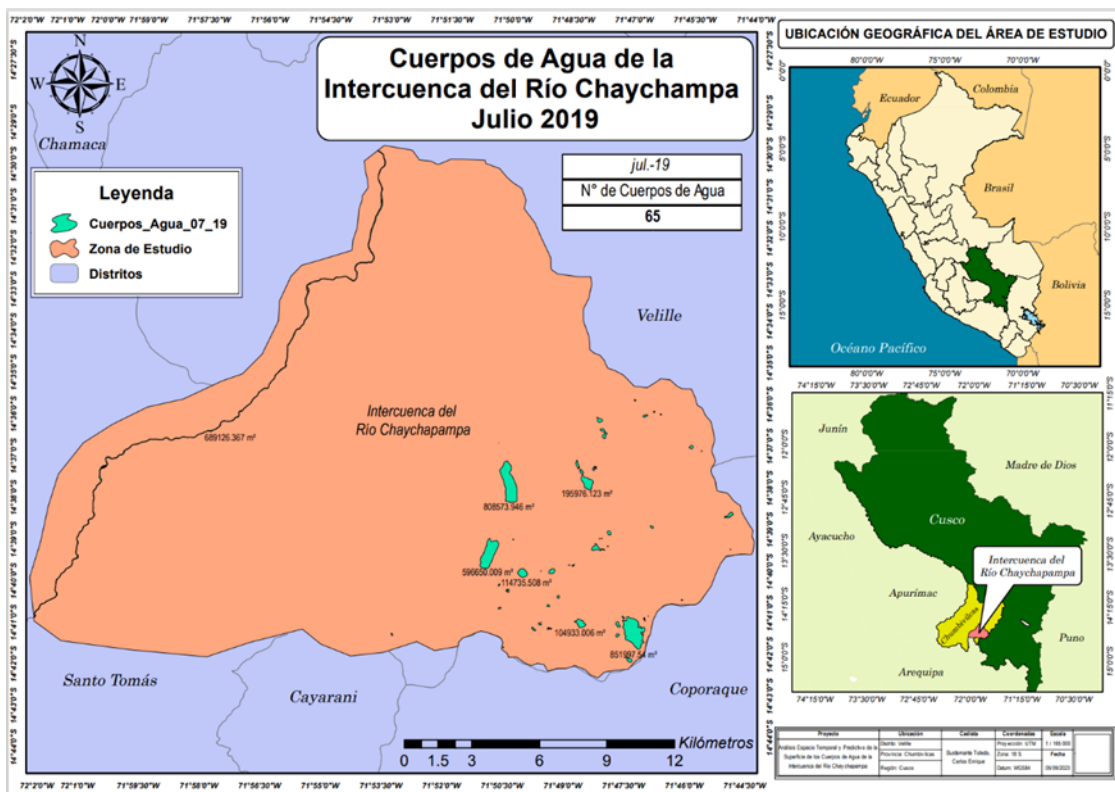


Figura 43: Mapa de la Intercuenca del río Chaychamapa en agosto del 2019

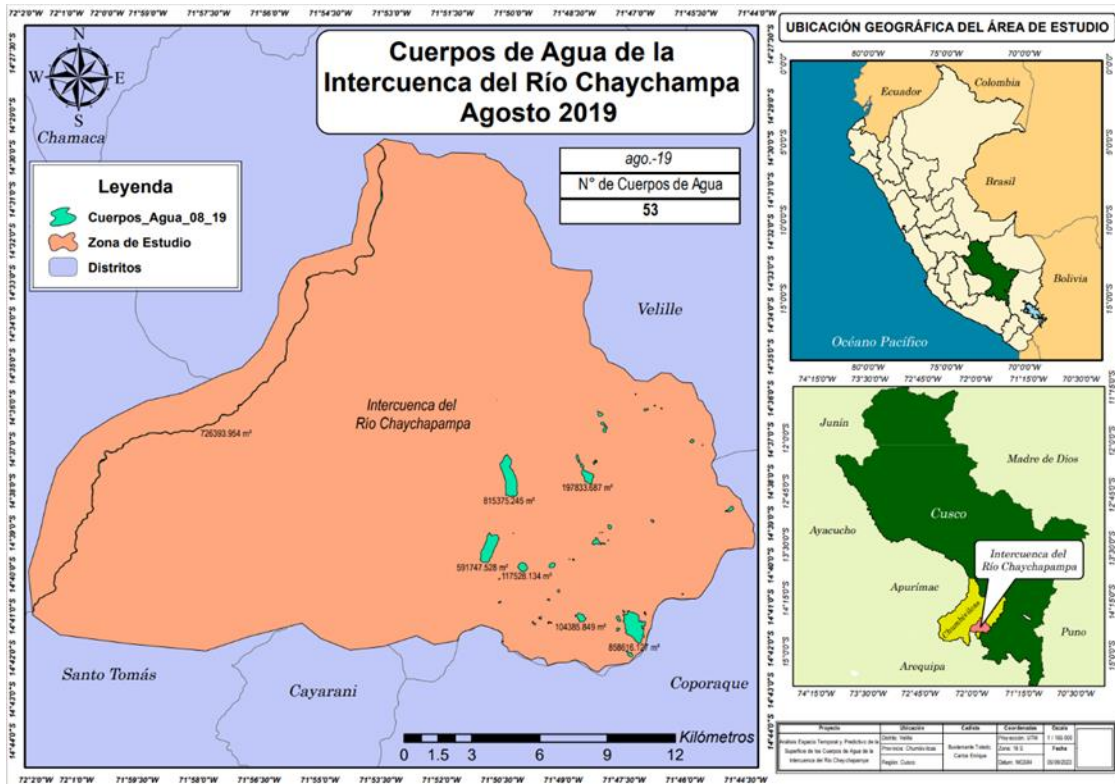


Figura 44: Mapa de la Intercuencia del río Chaychampa en setiembre del 2019

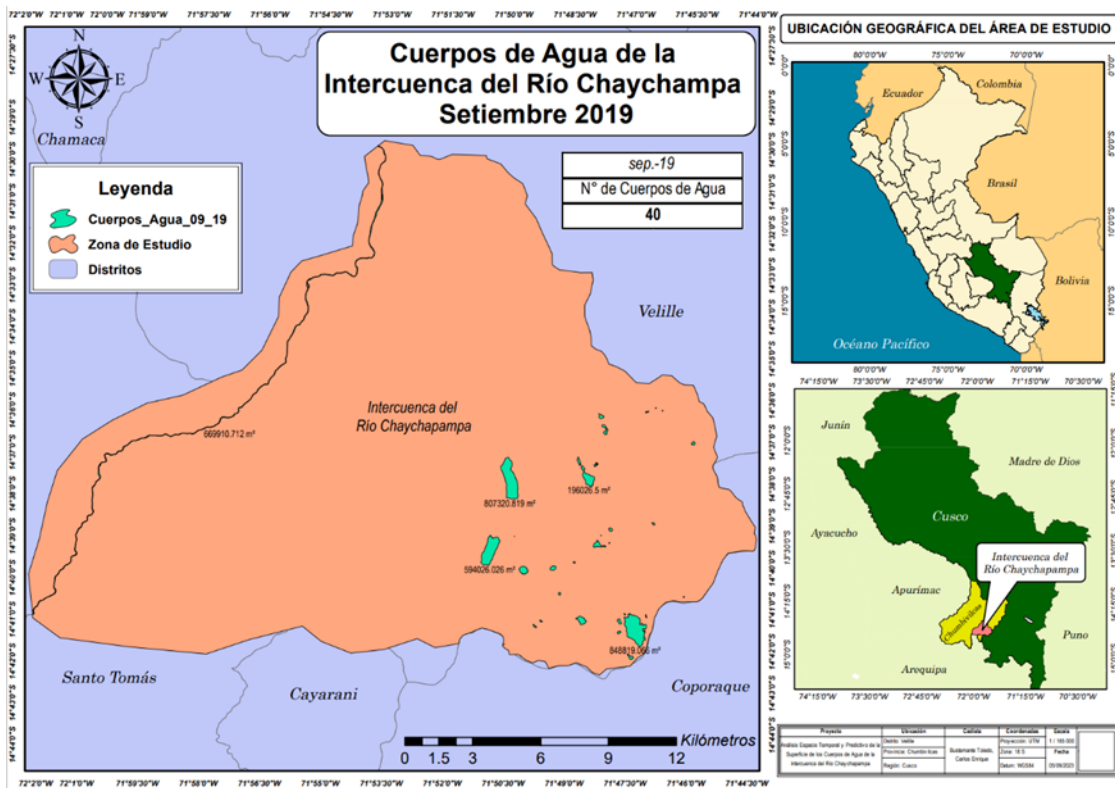


Figura 45: Mapa de la Intercuencia del río Chaychampa en octubre del 2019

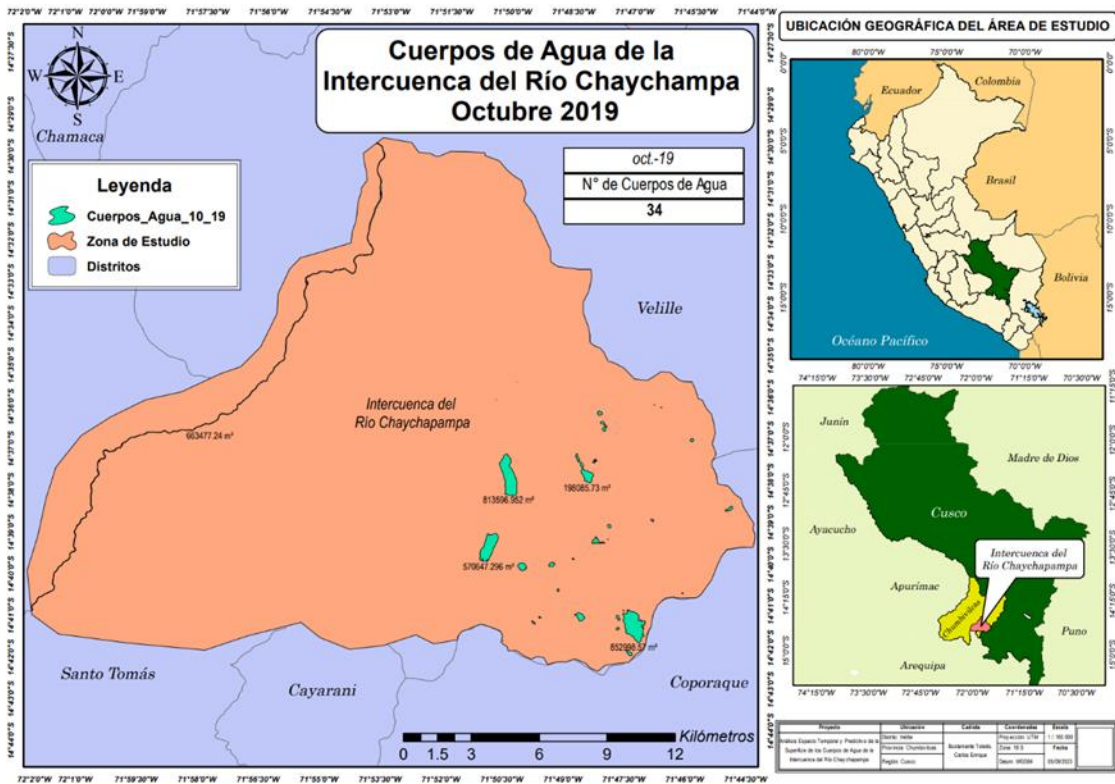


Figura 46: Mapa de la Intercuenca del río Chaychaypampa en abril del 2020

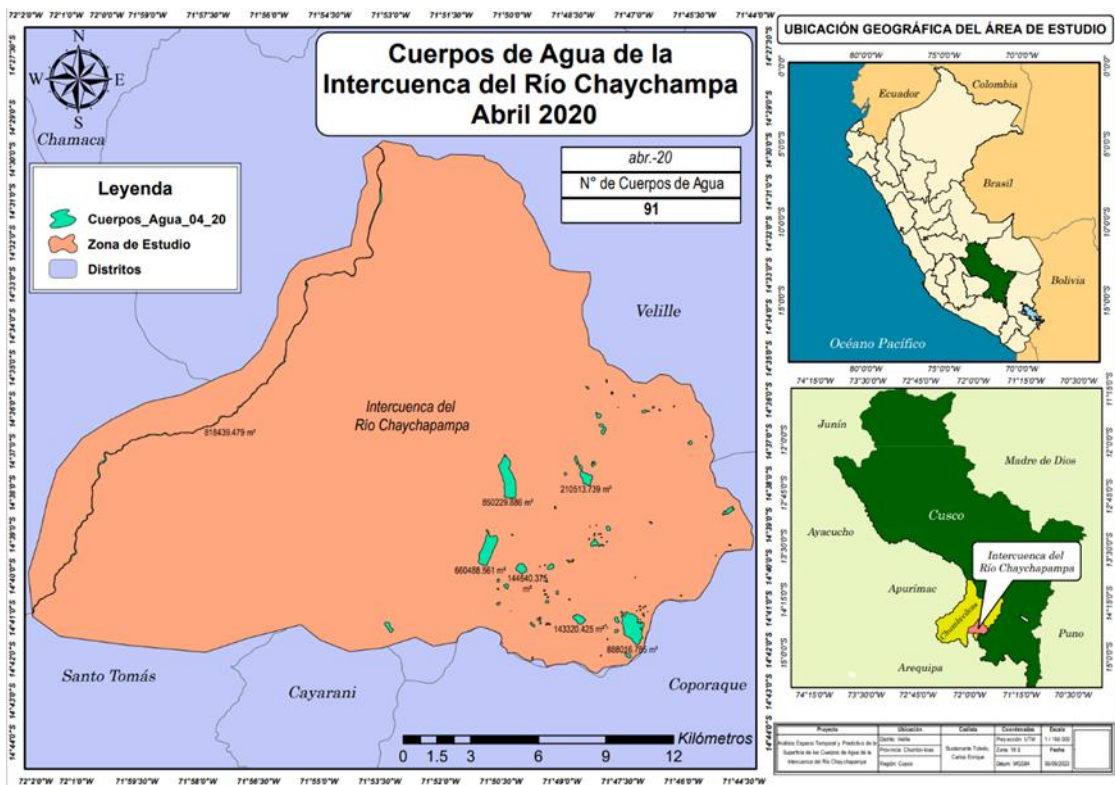


Figura 47: Mapa de la Intercuenca del río Chaychaypampa en mayo del 2020

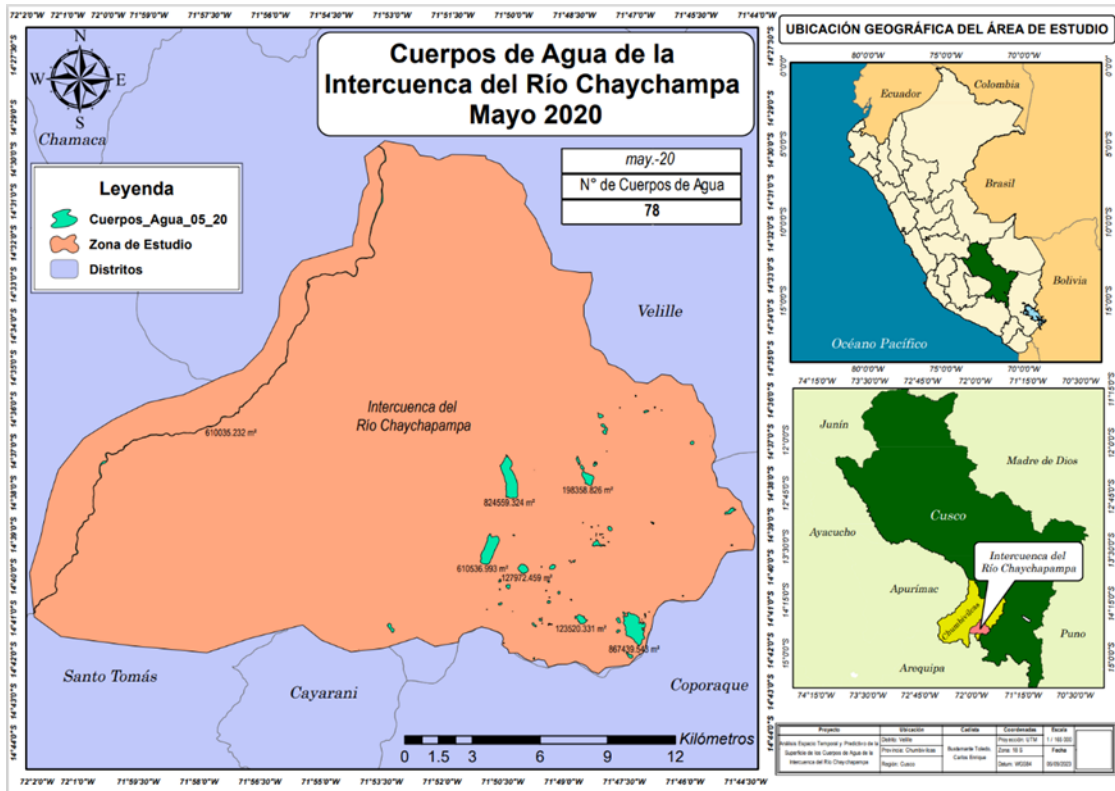


Figura 48: Mapa de la Intercuenca del río Chaychampa en junio del 2020

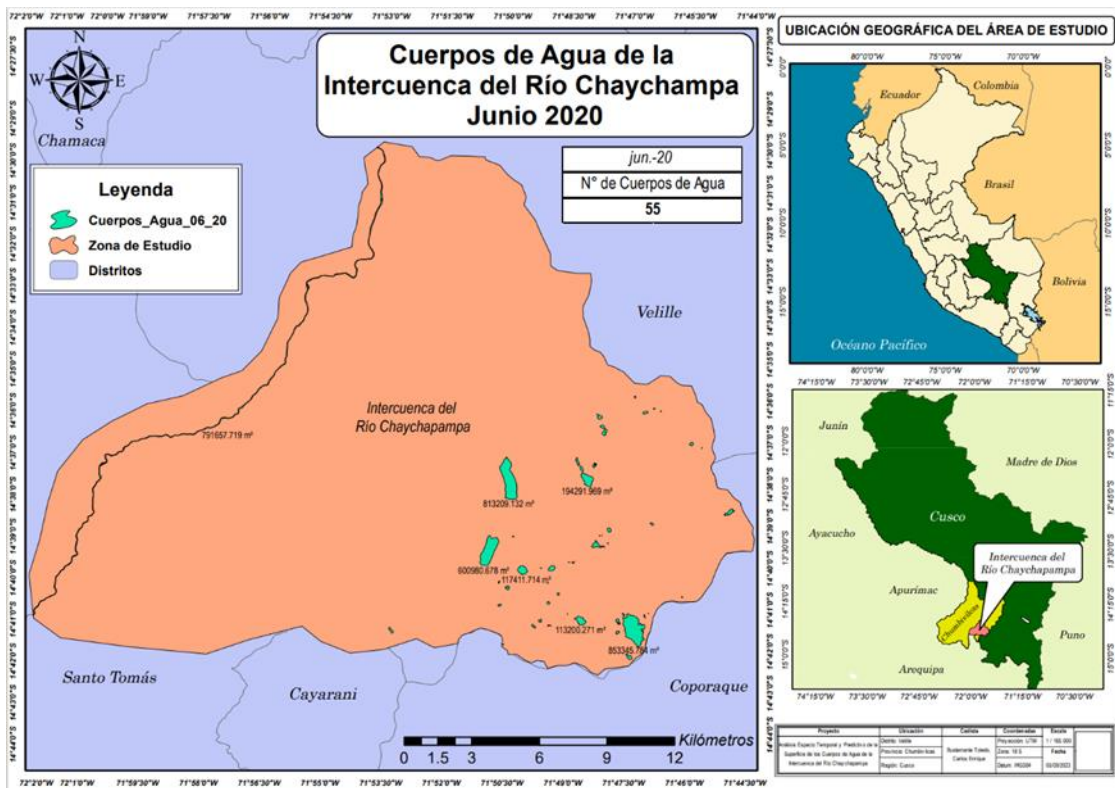


Figura 49: Mapa de la Intercuenca del río Chaychampa en julio del 2020

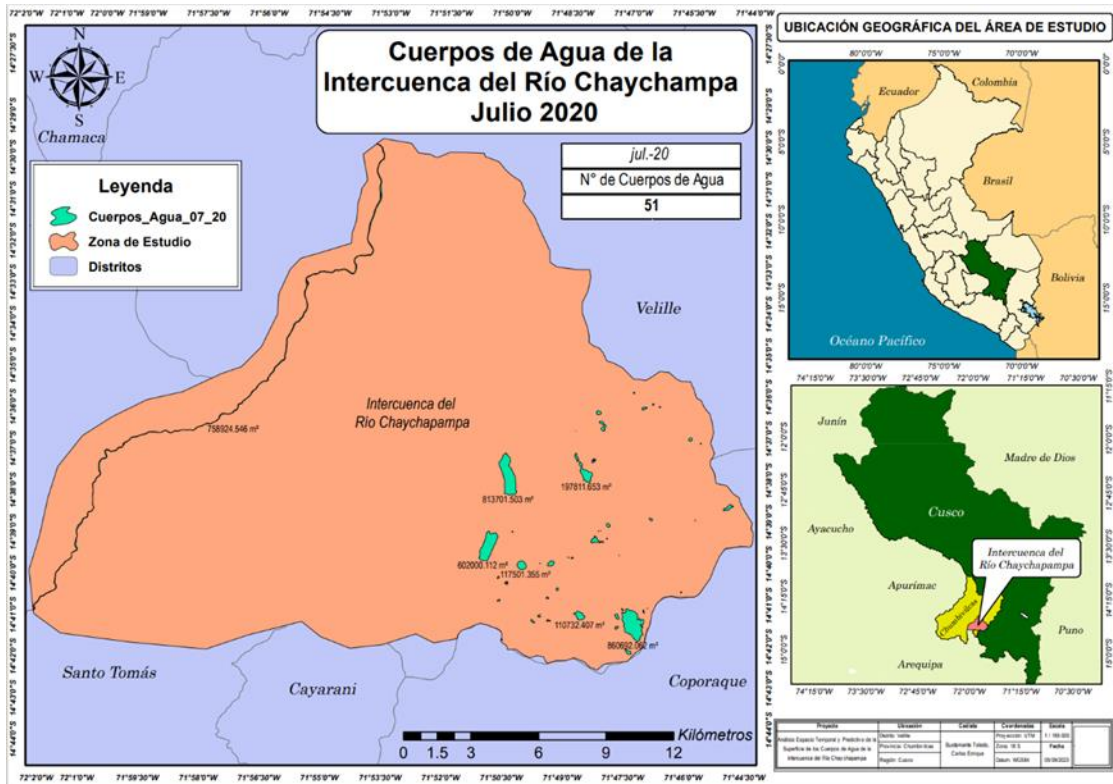


Figura 50: Mapa de la Intercuencia del río Chaychampa en agosto del 2020

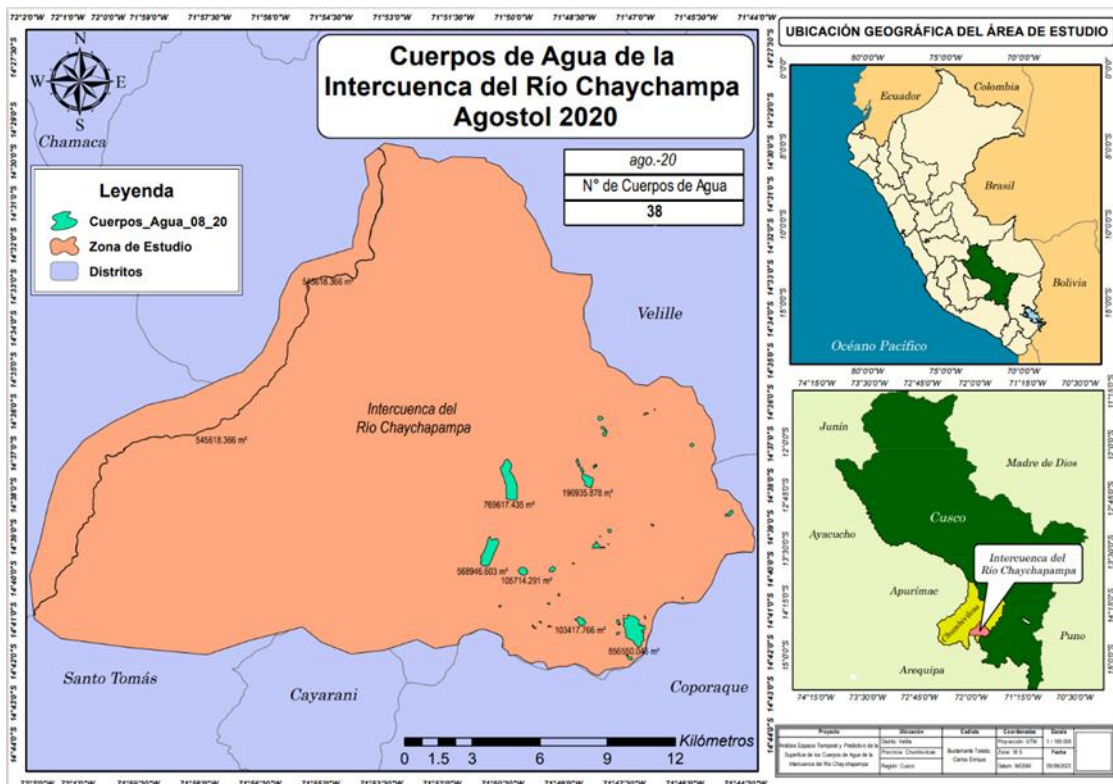


Figura 51: Mapa de la Intercuencia del río Chaychampa en setiembre del 2020

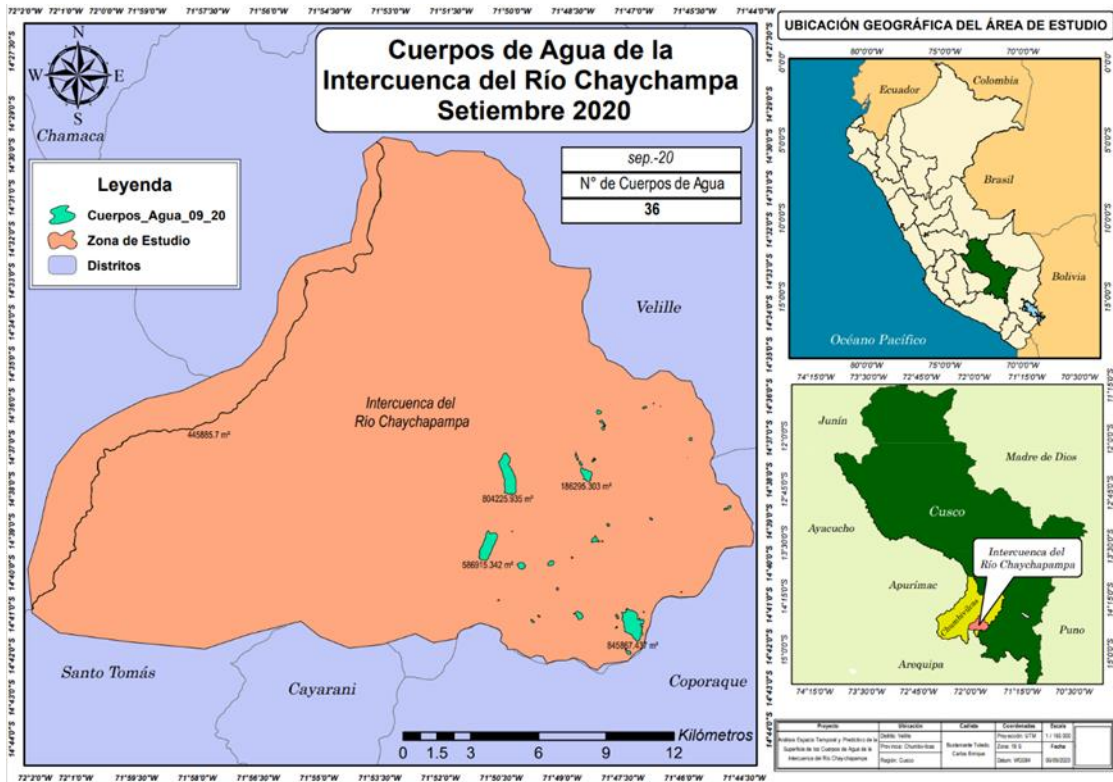


Figura 52: Mapa de la Intercuenca del río Chaychaypampa en octubre del 2020

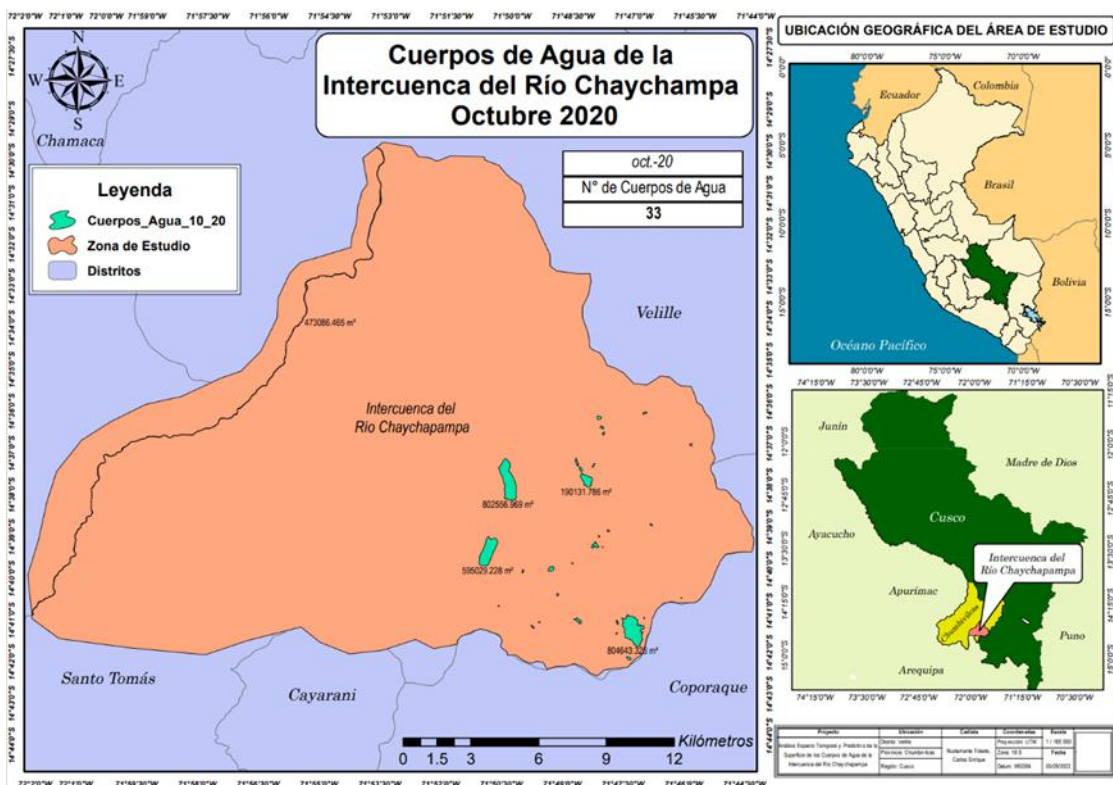


Figura 53: Mapa de la Intercuenca del río Chaychaypampa en diciembre del 2020

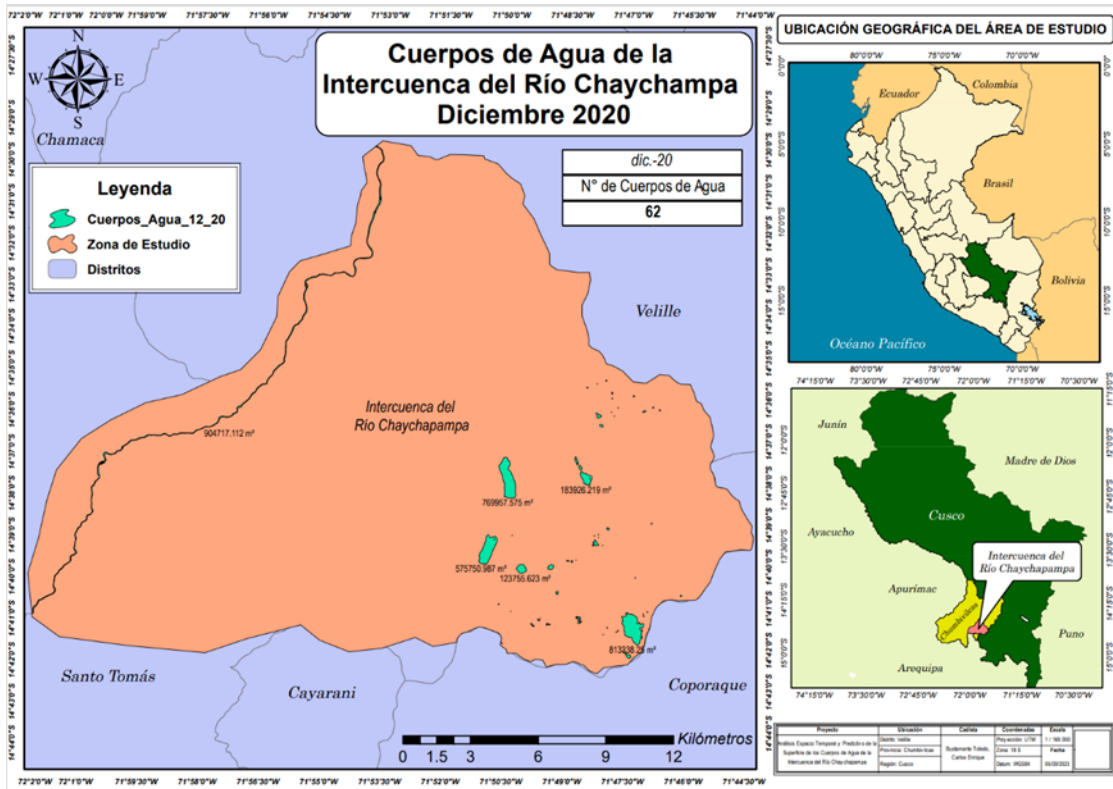


Figura 54: Mapa de la Intercuenca del río Chaychampa en abril del 2021

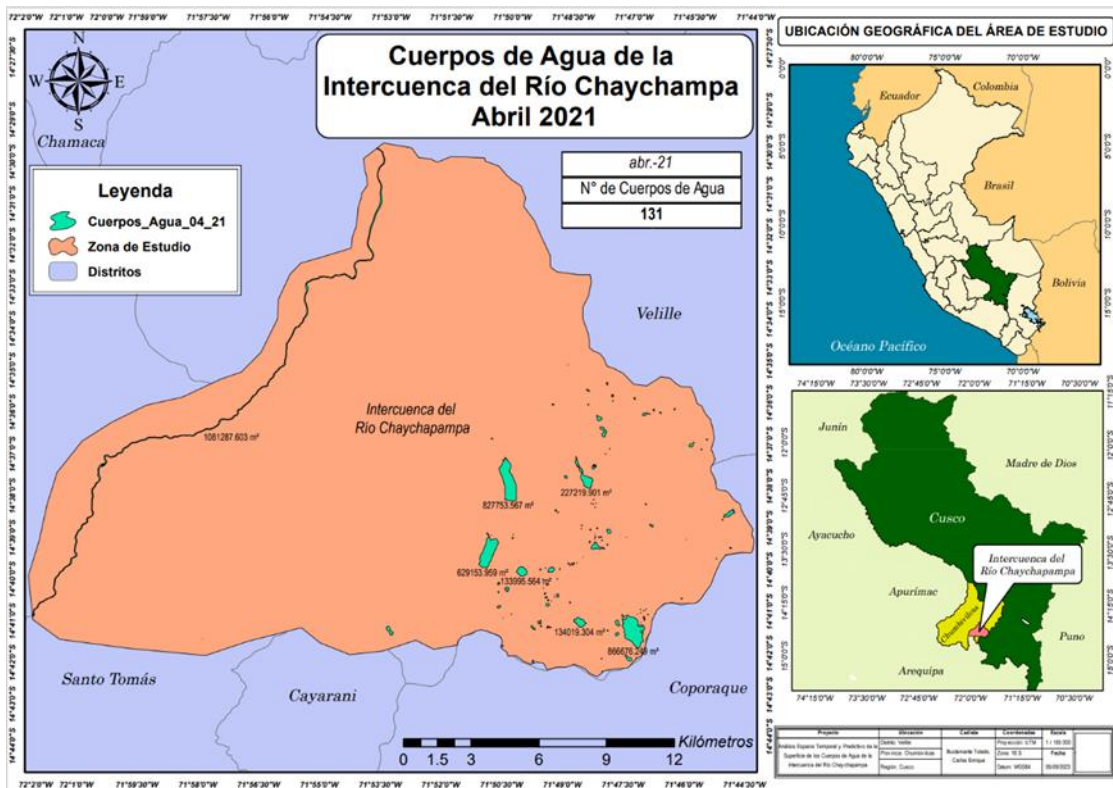


Figura 55: Mapa de la Intercuenca del río Chaychampa en mayo del 2021

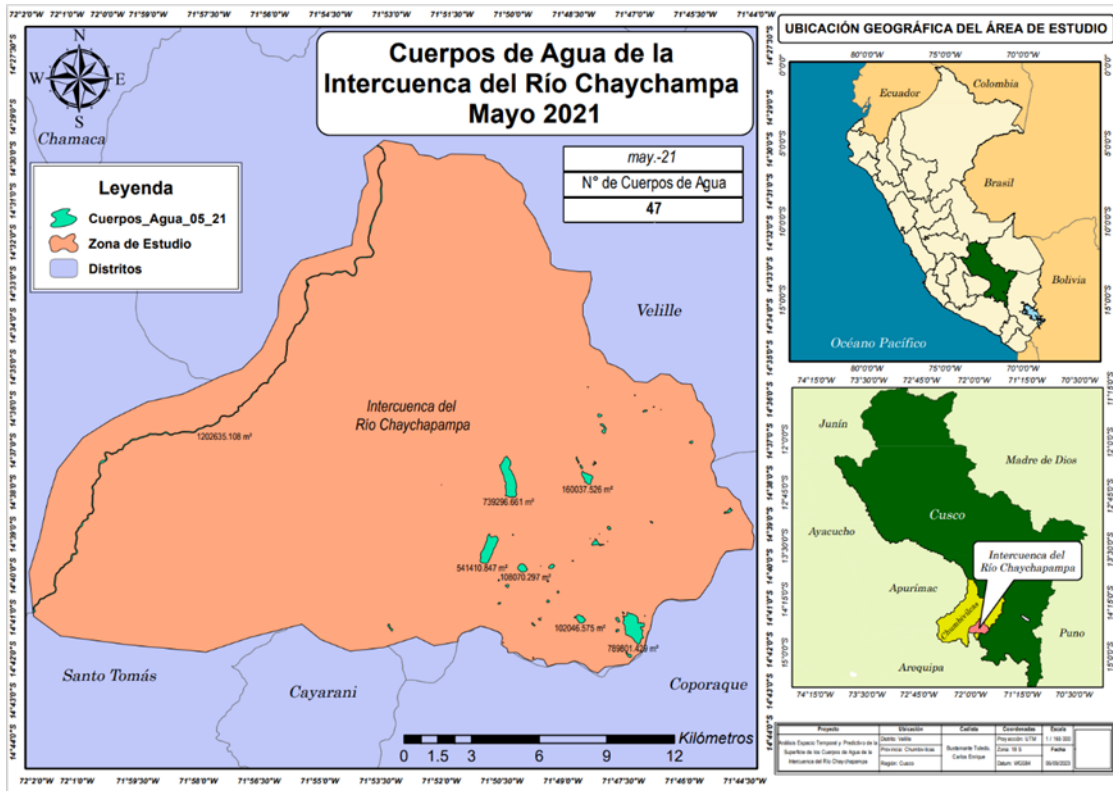


Figura 56: Mapa de la Intercuenca del río Chaychamapa en junio del 2021

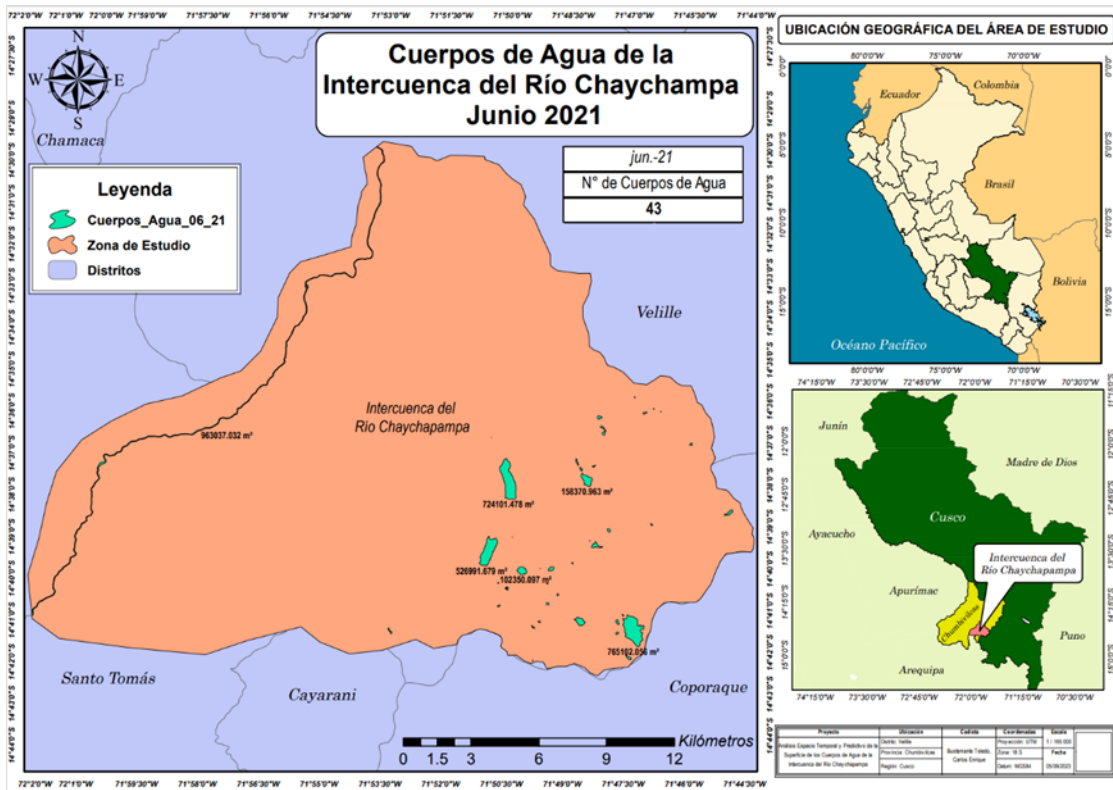


Figura 57: Mapa de la Intercuenca del río Chaychamapa en julio del 2021

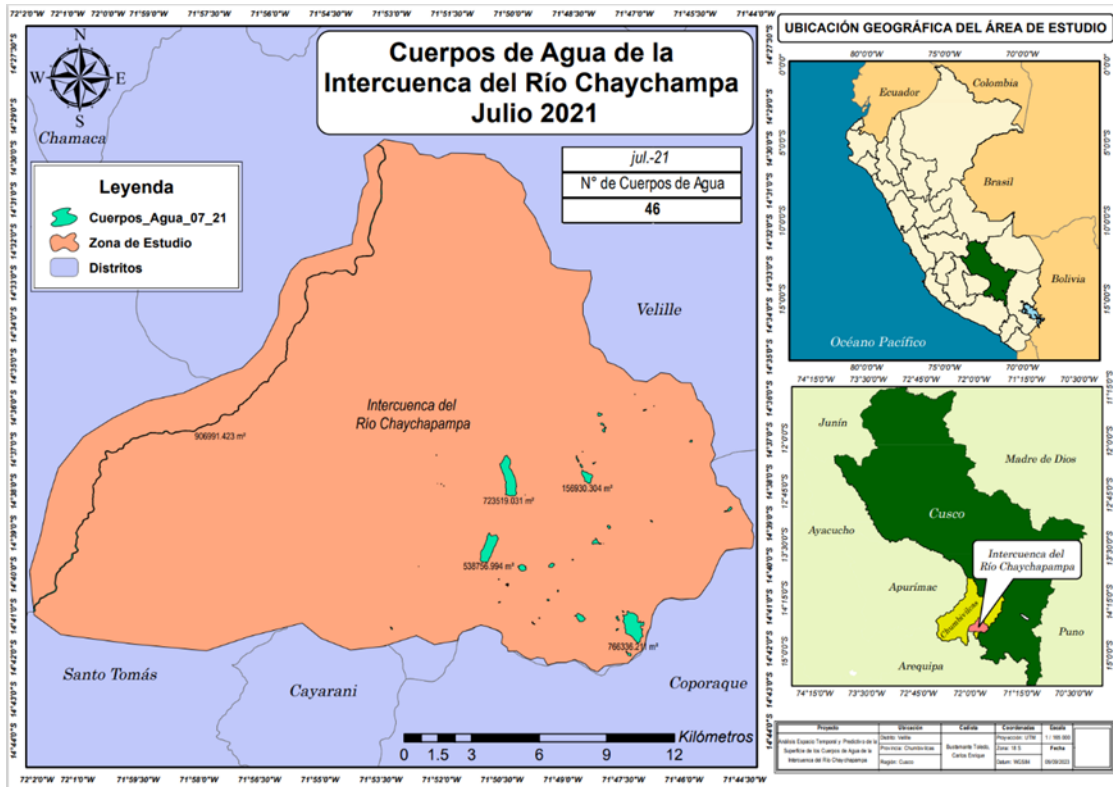


Figura 58: Mapa de la Intercuenca del río Chaychampa en agosto del 2021

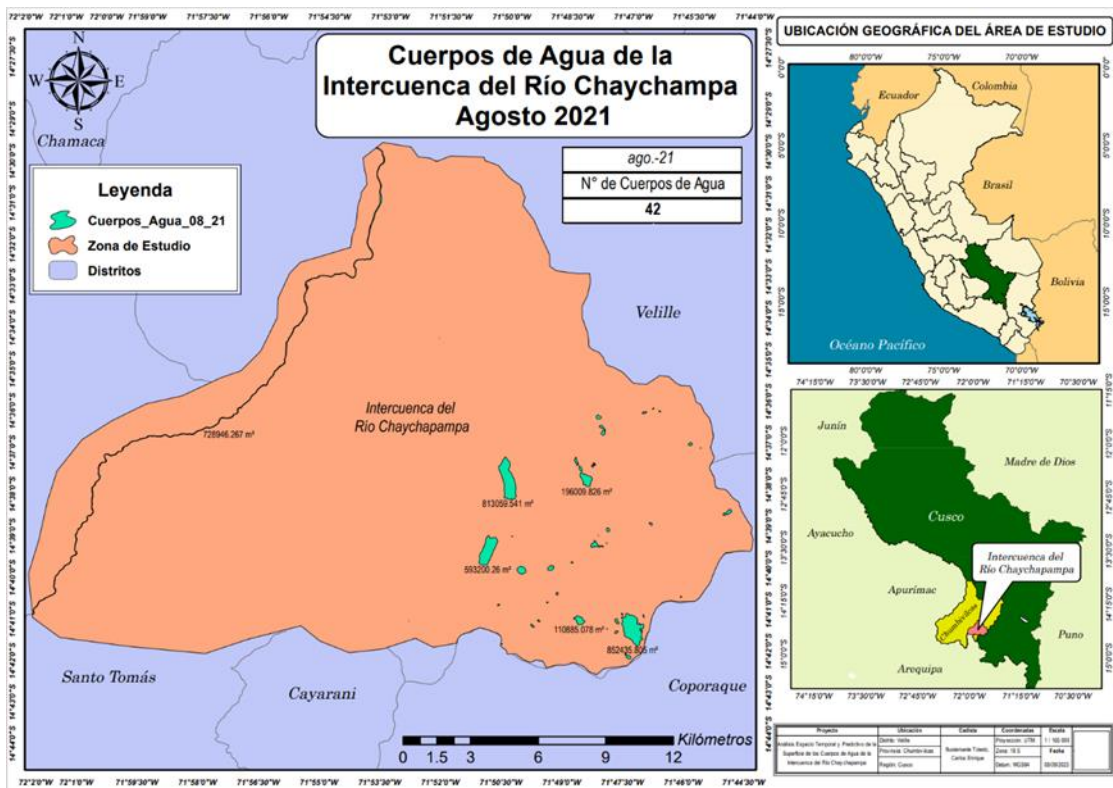


Figura 59: Mapa de la Intercuenca del río Chaychampa en octubre del 2021

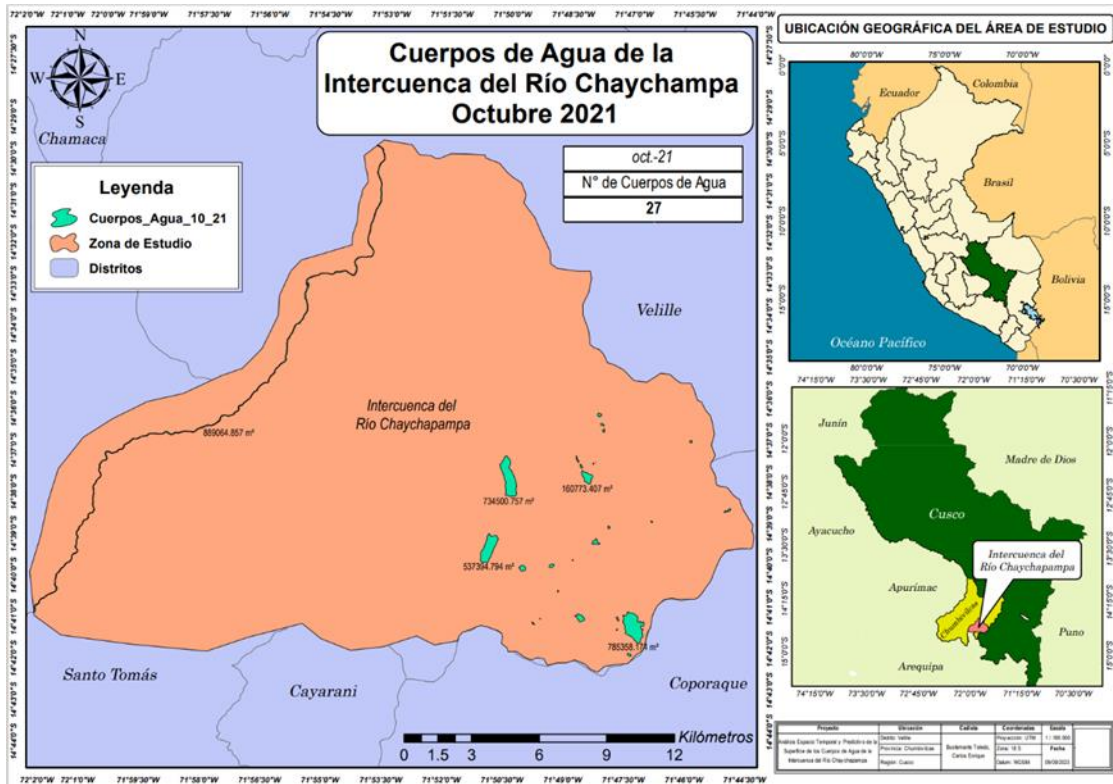


Figura 60: Mapa de la Intercuenca del río Chaychaypampa en noviembre del 2021

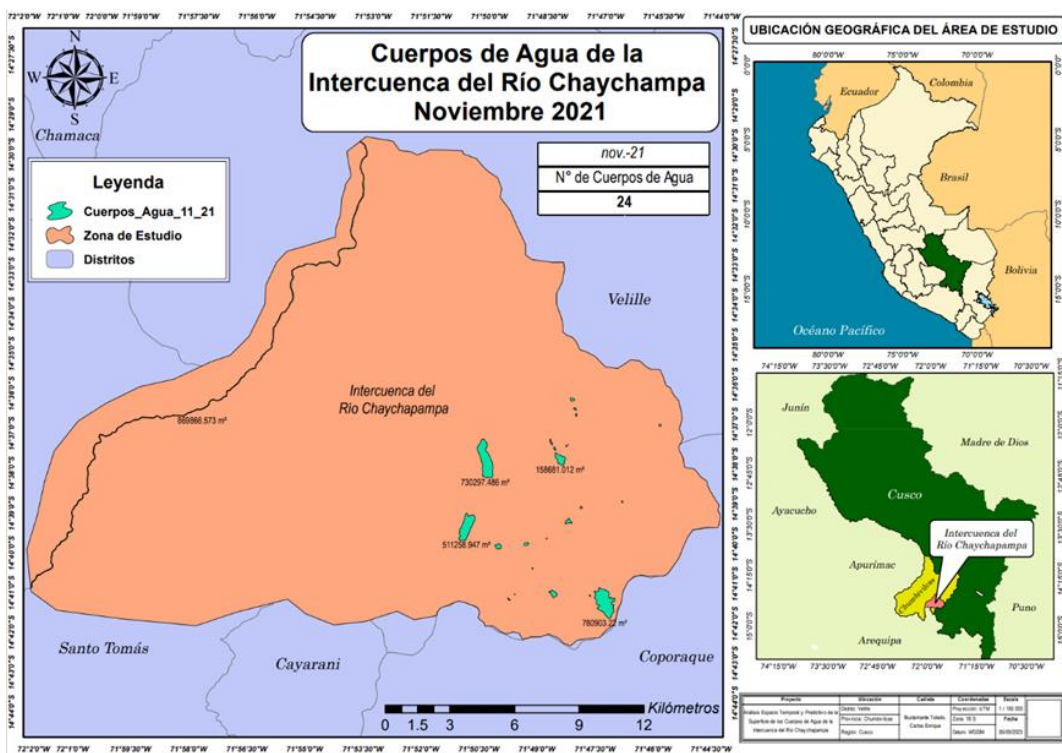


Figura 61: Mapa de la Intercuenca del río Chaychaypampa en abril del 2022

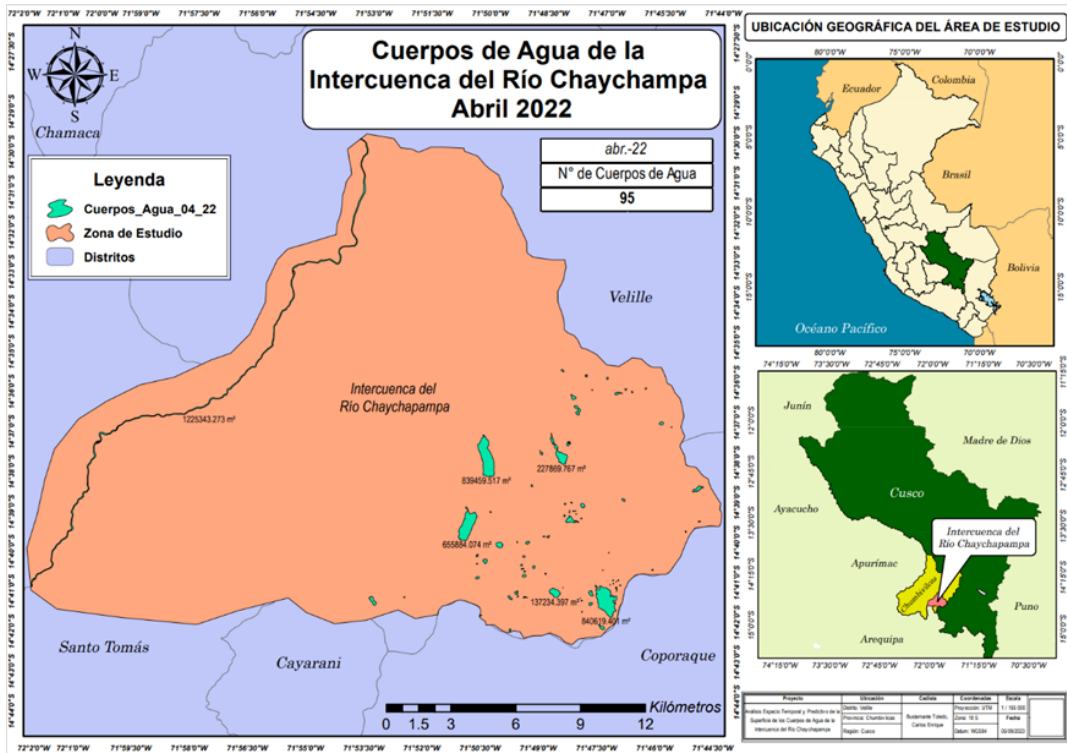


Figura 62: Mapa de la Intercuencia del río Chaychampa en mayo del 2022

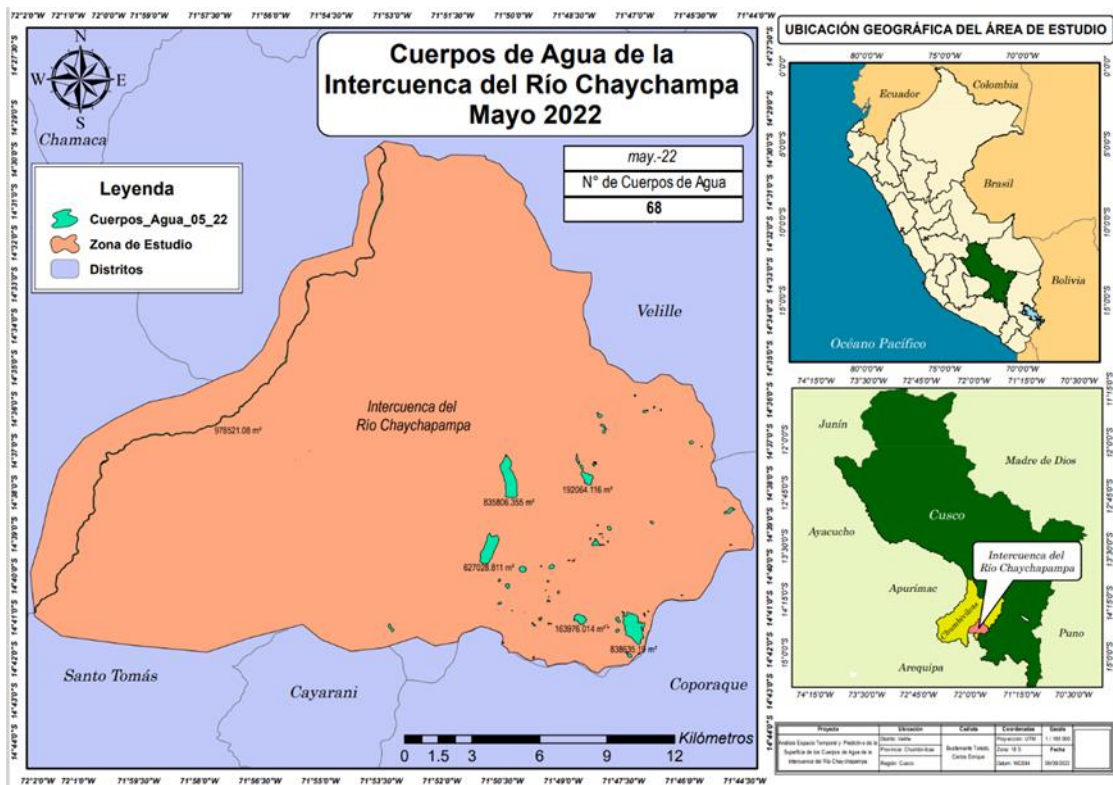


Figura 63: Mapa de la Intercuencia del río Chaychampa en junio del 2022

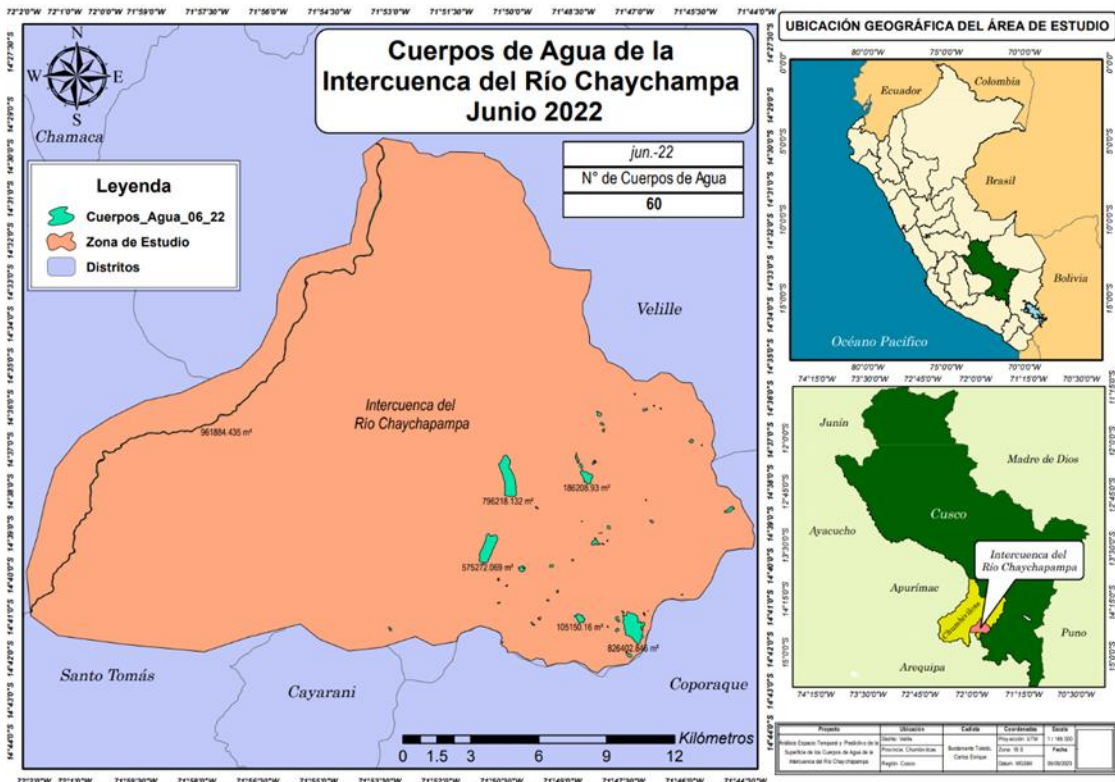


Figura 64: Mapa de la Intercuenca del río Chaychapampa en julio del 2022

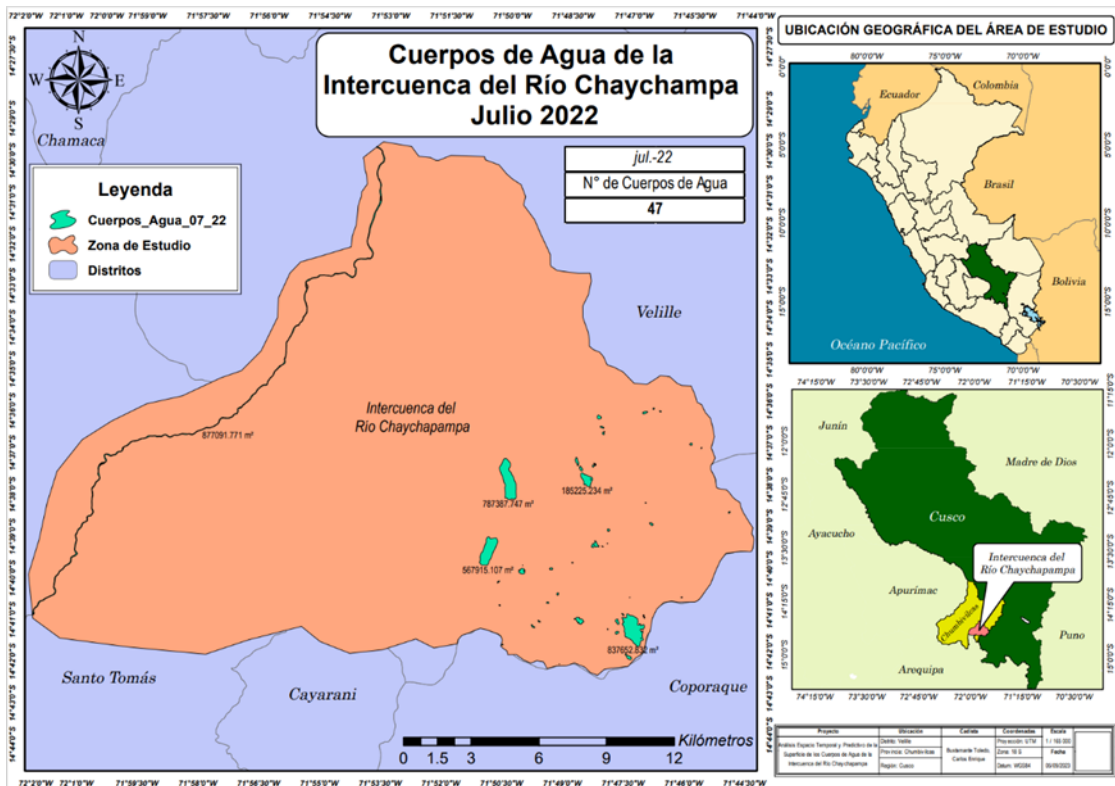


Figura 65: Mapa de la Intercuenca del río Chaychapampa en agosto del 2022

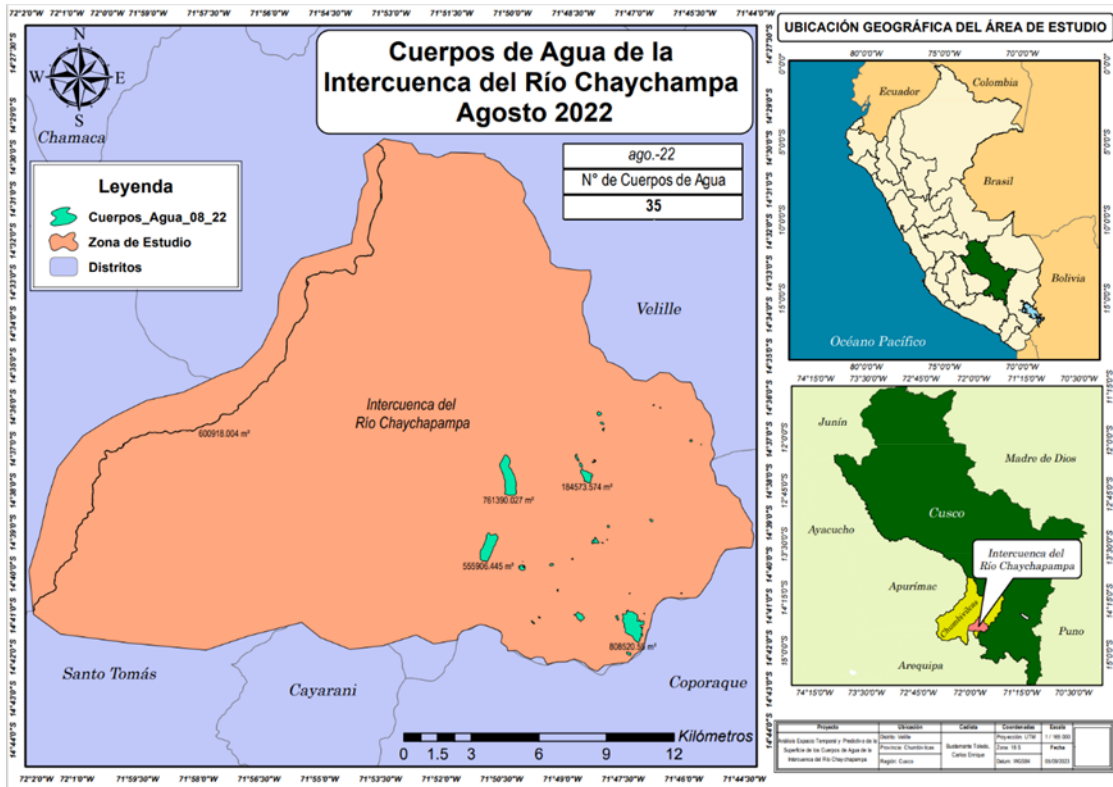


Figura 66: Mapa de la Intercuencia del río Chaychampa en setiembre del 2022

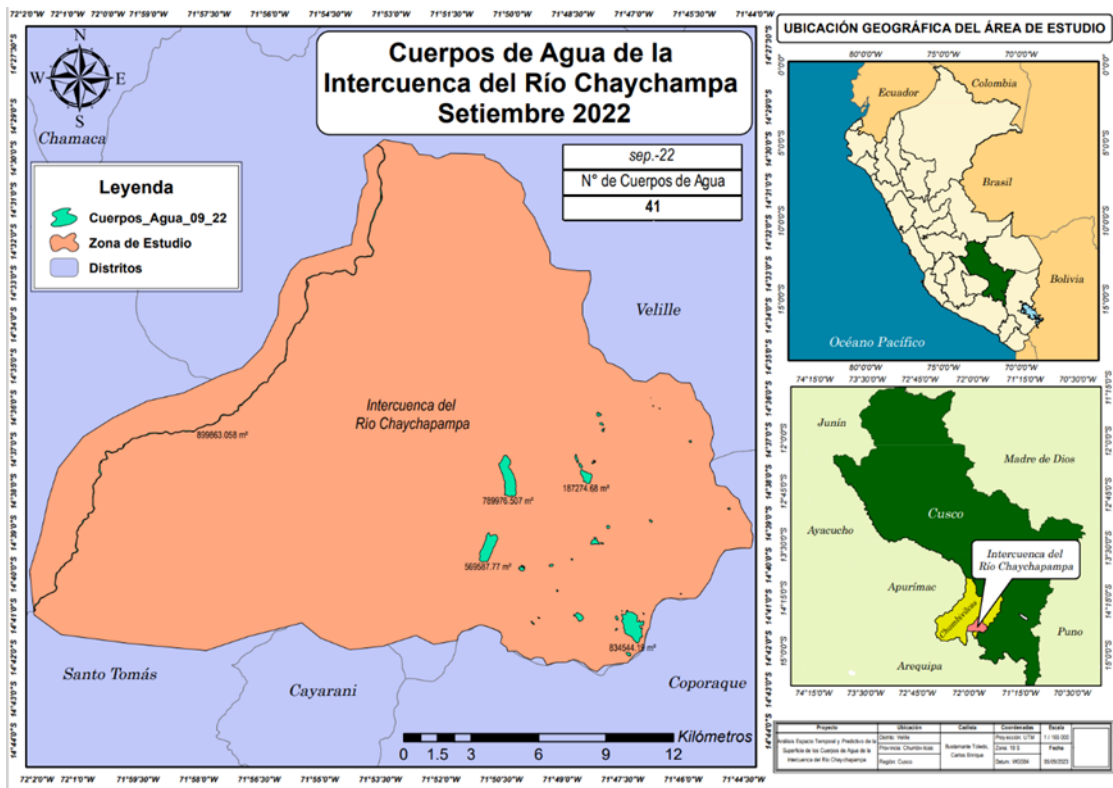


Figura 67: Mapa de la Intercuencia del río Chaychampa en octubre del 2022

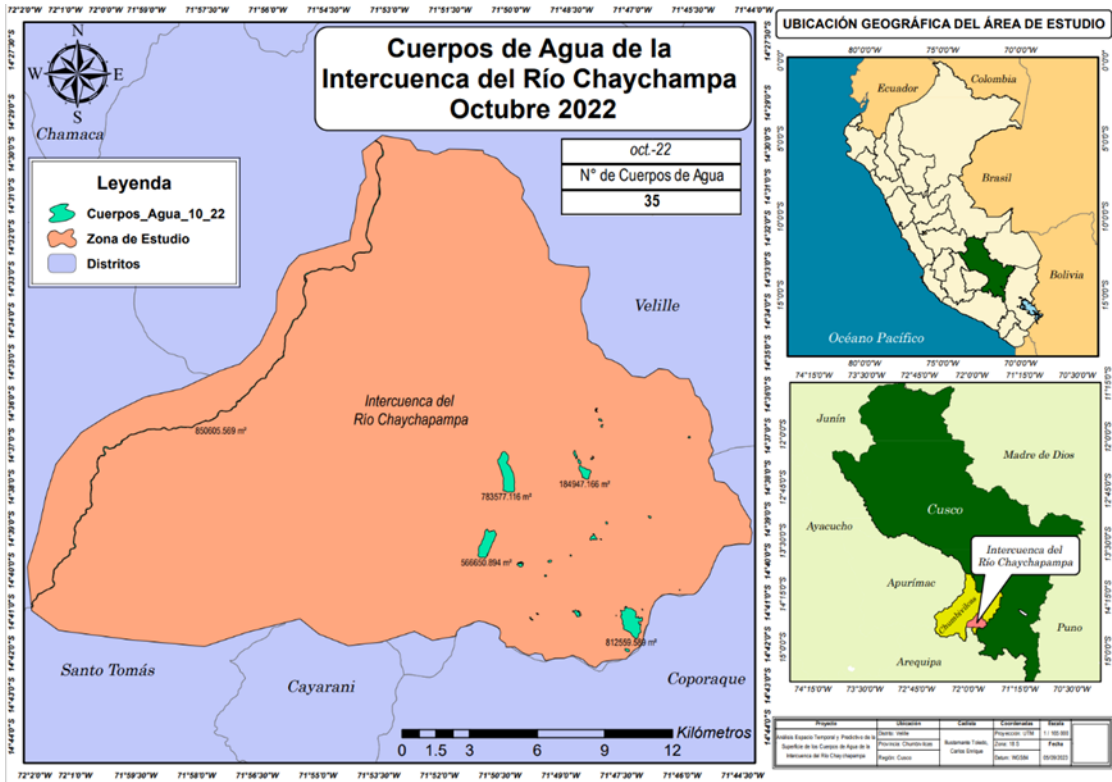
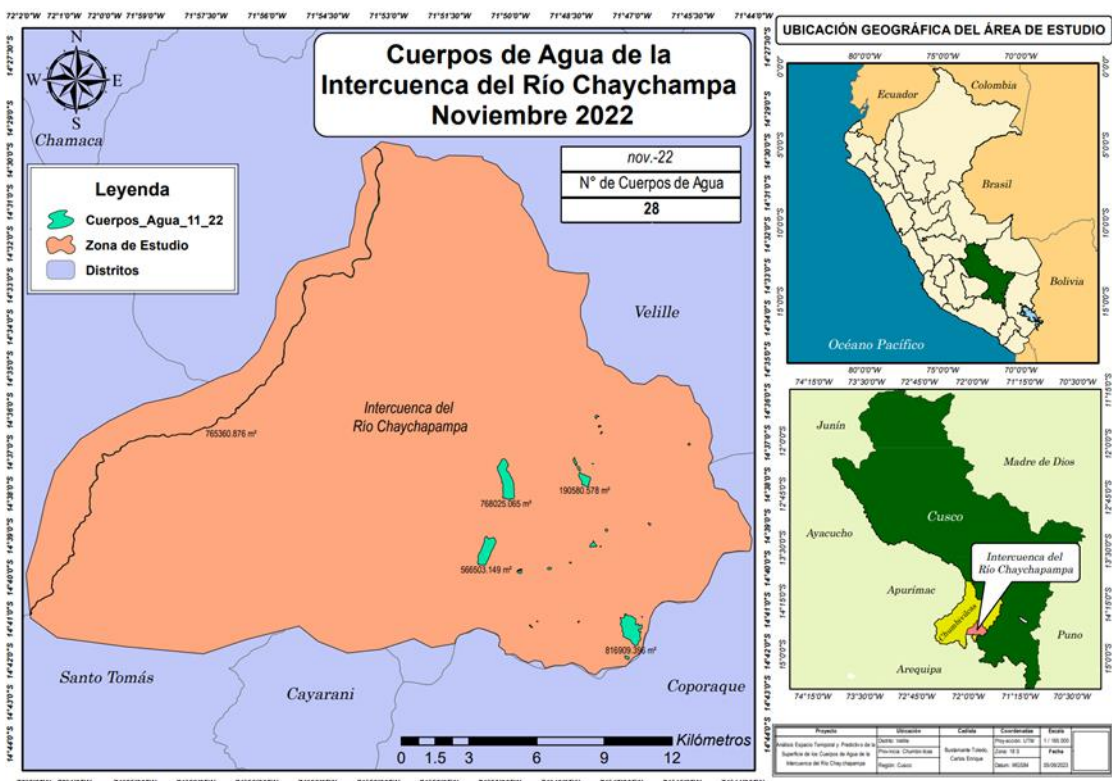


Figura 68: Mapa de la Intercuenca del río Chaychampa en noviembre del 2022



Anexo 2: Resultados de los valores del área de las superficies de los cuerpos de agua de la Intercuenca del Río Chaychampa región Cusco extraídas a partir del procesamiento del software Arc GIS.

VALORES DEL ÁREA DE LAS SUPERFICIES ACUÁTICAS DE LA INTERCUENCA DEL RÍO CHAYCHAPAMPA										
Fecha	2022	2021	2020	2019	2018	2017	2016	2015	2014	2013
enero										
febrero						4294647.61				
marzo										
abril	4774502.066	4716843.46	4664680.53	4968887.64	3829650.54	4198593.26			5757197	
mayo	4334651.982	4054162.94	4059165.23	4183576.73	3736721.48	4096404.99	4216404.84		5428281.09	5278590.54
junio	3971902.724	3678770.33	4077362.05	4001646.74	3663444.14	3983988.41	4055734.51	5189102.07	5048134.19	5032375.89
julio	3699646.506	3549782.26	4022988.99	3905024.66	3662511.02	3690910.94	3876583.82	4966750.07		4848369.76
agosto	3287055.072	3857805.62	3614926.21	3929804.25	3542698.33	3904862.21	3762337.31	4906193.73	4854850.31	4748356.98
setiembre	3694813.09			3685703.49	3567893.39	4864800.85	4014323.12	4747642.03		4543173.18
octubre	3481104.065	3457210.89	3168166.18	3691701.98			3791610.27	4580311.15		4405756.33
noviembre	3321402.540	3327370.52			2840531.58		3397401.34		4701806.16	4480180.09
diciembre			3659182.68						4808630.76	

Anexo 3: Resultados de la imputación de datos faltantes de los valores de los cuerpos acuáticos de la Intercuenca del río Chaychapampa región Cusco en el software SPSS.

Imputation	AÑOS	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre
0	2013	#!NULO!	5278590.54	5032375.89	4848369.76	4748356.98	4543173.18	4405756.33	4480180.09
0	2014	5757197.00	5428281.09	5048134.19	#!NULO!	4854850.31	#!NULO!	4808630.76	4701806.16
0	2015	#!NULO!	#!NULO!	5189102.07	4966750.07	4906193.73	4747642.03	4580311.15	#!NULO!
0	2016	#!NULO!	4216404.84	4055734.51	3876583.82	3762337.31	4014323.12	3791610.27	3397401.34
0	2017	4198593.26	4096404.99	3983988.41	3690910.94	3904862.21	4864800.85	#!NULO!	4294647.61
0	2018	3829650.54	3736721.48	3663444.14	3662511.02	3542698.33	3567893.39	#!NULO!	2840531.59
0	2019	4968887.64	4183576.73	4001646.74	3905024.66	3929804.25	3685703.49	3691701.98	#!NULO!
0	2020	4664800.53	4059165.23	4077362.05	4022988.00	3614926.21	3391414.87	3168166.18	3659182.68
0	2021	4716843.46	4054162.94	3678770.33	3549782.26	3857805.62	#!NULO!	3457210.89	3327370.52
0	2022	4774502.07	4334651.98	3971902.72	3699646.51	3287055.07	3694813.09	3481104.07	3321402.54
1	2013	4700098.45	5278590.54	5032375.89	4848369.76	4748356.98	4543173.18	4405756.33	4480180.09
1	2014	5757197.00	5428281.09	5048134.19	4841575.59	4854850.31	4063947.85	4808630.76	4701806.16
1	2015	4701132.63	5856918.30	5189102.07	4966750.07	4906193.73	4747642.03	4580311.15	3752241.94
1	2016	4701610.39	4216404.84	4055734.51	3876583.82	3762337.31	4014323.12	3791610.27	3397401.34
1	2017	4198593.26	4096404.99	3983988.41	3690910.94	3904862.21	4864800.85	3923903.06	4294647.61
1	2018	3829650.54	3736721.48	3663444.14	3662511.02	3542698.33	3567893.39	3923317.38	2840531.59
1	2019	4968887.64	4183576.73	4001646.74	3905024.66	3929804.25	3685703.49	3691701.98	3752622.87
1	2020	4664800.53	4059165.23	4077362.05	4022988.00	3614926.21	3391414.87	3168166.18	3659182.68
1	2021	4716843.46	4054162.94	3678770.33	3549782.26	3857805.62	4064531.56	3457210.89	3327370.52
1	2022	4774502.07	4334651.98	3971902.72	3699646.51	3287055.07	3694813.09	3481104.07	3321402.54
2	2013	4701420.73	5278590.54	5032375.89	4848369.76	4748356.98	4543173.18	4405756.33	4480180.09
2	2014	5757197.00	5428281.09	5048134.19	4839970.25	4854850.31	4063340.37	4808630.76	4701806.16
2	2015	4702655.23	5905816.00	5189102.07	4966750.07	4906193.73	4747642.03	4580311.15	3753526.91
2	2016	4701349.80	4216404.84	4055734.51	3876583.82	3762337.31	4014323.12	3791610.27	3397401.34
2	2017	4198593.26	4096404.99	3983988.41	3690910.94	3904862.21	4864800.85	3923800.56	4294647.61
2	2018	3829650.54	3736721.48	3663444.14	3662511.02	3542698.33	3567893.39	3922985.94	2840531.59
2	2019	4968887.64	4183576.73	4001646.74	3905024.66	3929804.25	3685703.49	3691701.98	3754249.30
2	2020	4664800.53	4059165.23	4077362.05	4022988.00	3614926.21	3391414.87	3168166.18	3659182.68
2	2021	4716843.46	4054162.94	3678770.33	3549782.26	3857805.62	4061633.64	3457210.89	3327370.52
2	2022	4774502.07	4334651.98	3971902.72	3699646.51	3287055.07	3694813.09	3481104.07	3321402.54
3	2013	4700485.20	5278590.54	5032375.89	4848369.76	4748356.98	4543173.18	4405756.33	4480180.09
3	2014	5757197.00	5428281.09	5048134.19	4838998.41	4854850.31	4064543.83	4808630.76	4701806.16
3	2015	4702672.61	5818287.84	5189102.07	4966750.07	4906193.73	4747642.03	4580311.15	3752718.63
3	2016	4701366.68	4216404.84	4055734.51	3876583.82	3762337.31	4014323.12	3791610.27	3397401.34
3	2017	4198593.26	4096404.99	3983988.41	3690910.94	3904862.21	4864800.85	3922176.75	4294647.61
3	2018	3829650.54	3736721.48	3663444.14	3662511.02	3542698.33	3567893.39	3924408.93	2840531.59
3	2019	4968887.64	4183576.73	4001646.74	3905024.66	3929804.25	3685703.49	3691701.98	3754249.30
3	2020	4664800.53	4059165.23	4077362.05	4022988.00	3614926.21	3391414.87	3168166.18	3659182.68
3	2021	4716843.46	4054162.94	3678770.33	3549782.26	3857805.62	4062914.89	3457210.89	3327370.52
3	2022	4774502.07	4334651.98	3971902.72	3699646.51	3287055.07	3694813.09	3481104.07	3321402.54
4	2013	4701533.68	5278590.54	5032375.89	4848369.76	4748356.98	4543173.18	4405756.33	4480180.09
4	2014	5757197.00	5428281.09	5048134.19	4838601.97	4854850.31	4063982.99	4808630.76	4701806.16
4	2015	4701065.91	5823259.79	5189102.07	4966750.07	4906193.73	4747642.03	4580311.15	3753189.21
4	2016	4702726.92	4216404.84	4055734.51	3876583.82	3762337.31	4014323.12	3791610.27	3397401.34
4	2017	4198593.26	4096404.99	3983988.41	3690910.94	3904862.21	4864800.85	3923645.70	4294647.61
4	2018	3829650.54	3736721.48	3663444.14	3662511.02	3542698.33	3567893.39	3922069.42	2840531.59
4	2019	4968887.64	4183576.73	4001646.74	3905024.66	3929804.25	3685703.49	3691701.98	3751831.85
4	2020	4664800.53	4059165.23	4077362.05	4022988.00	3614926.21	3391414.87	3168166.18	3659182.68
4	2021	4716843.46	4054162.94	3678770.33	3549782.26	3857805.62	4062914.89	3457210.89	3327370.52
4	2022	4774502.07	4334651.98	3971902.72	3699646.51	3287055.07	3694813.09	3481104.07	3321402.54
5	2013	4701911.76	5278590.54	5032375.89	4848369.76	4748356.98	4543173.18	4405756.33	4480180.09
5	2014	5757197.00	5428281.09	5048134.19	4843261.08	4854850.31	4064079.84	4808630.76	4701806.16
5	2015	4702934.09	5760504.57	5189102.07	4966750.07	4906193.73	4747642.03	4580311.15	3751879.66
5	2016	4701519.99	4216404.84	4055734.51	3876583.82	3762337.31	4014323.12	3791610.27	3397401.34
5	2017	4198593.26	4096404.99	3983988.41	3690910.94	3904862.21	4864800.85	3922660.24	4294647.61
5	2018	3829650.54	3736721.48	3663444.14	3662511.02	3542698.33	3567893.39	3921985.42	2840531.59
5	2019	4968887.64	4183576.73	4001646.74	3905024.66	3929804.25	3685703.49	3691701.98	3752178.76
5	2020	4664800.53	4059165.23	4077362.05	4022988.00	3614926.21	3391414.87	3168166.18	3659182.68
5	2021	4716843.46	4054162.94	3678770.33	3549782.26	3857805.62	4062373.14	3457210.89	3327370.52
5	2022	4774502.07	4334651.98	3971902.72	3699646.51	3287055.07	3694813.09	3481104.07	3321402.54

Anexo 4: Procesamiento de datos estadísticos para la respectiva validación de datos en el software STATA y posterior planteamiento del modelo predictivo.

Figura 1: Proceso de Prueba de Normalidad – Test de Kolmogorov-Smirnov

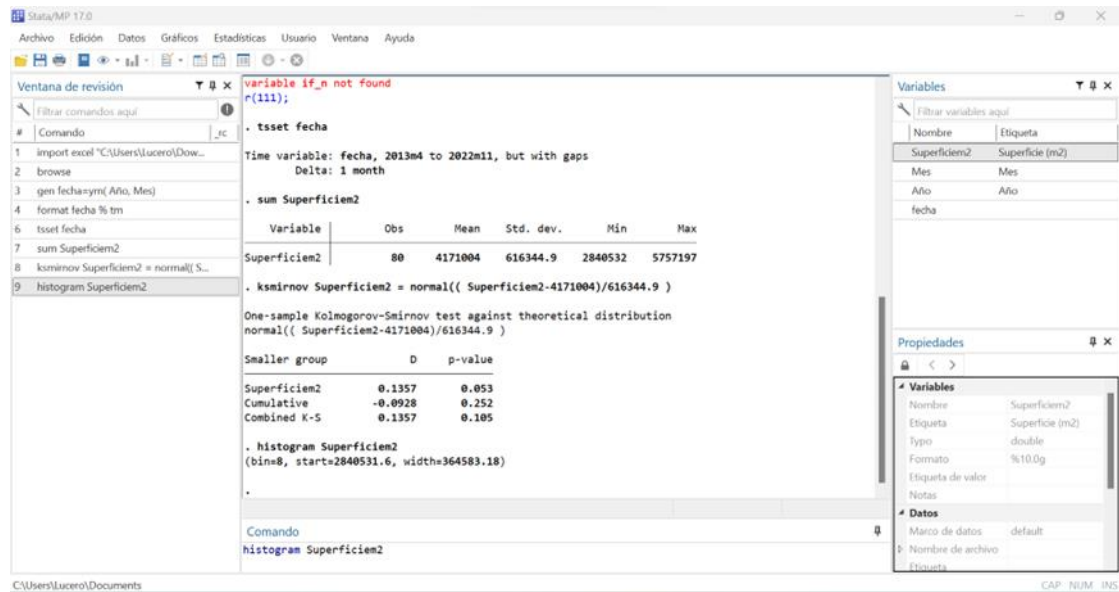


Figura 2: Proceso de Prueba de Tendencia – Test de Mann Kendall

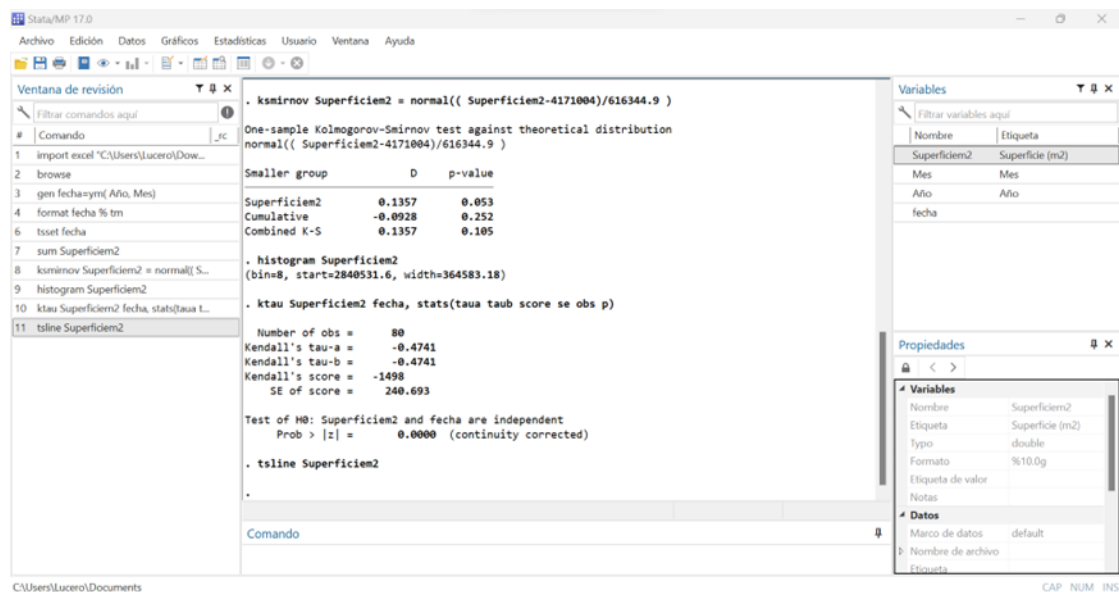


Figura 3: Proceso de Prueba de Estacionalidad – Test de Kruskal Wallis

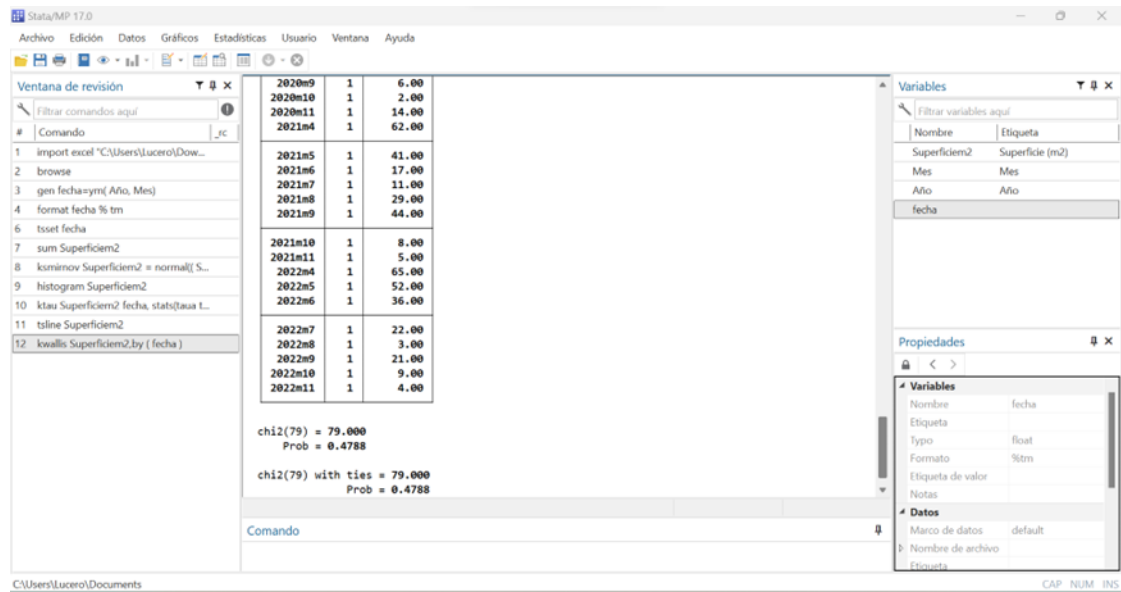


Figura 4: Proceso de Prueba de Estacionariedad – Test de Dickey Fuller

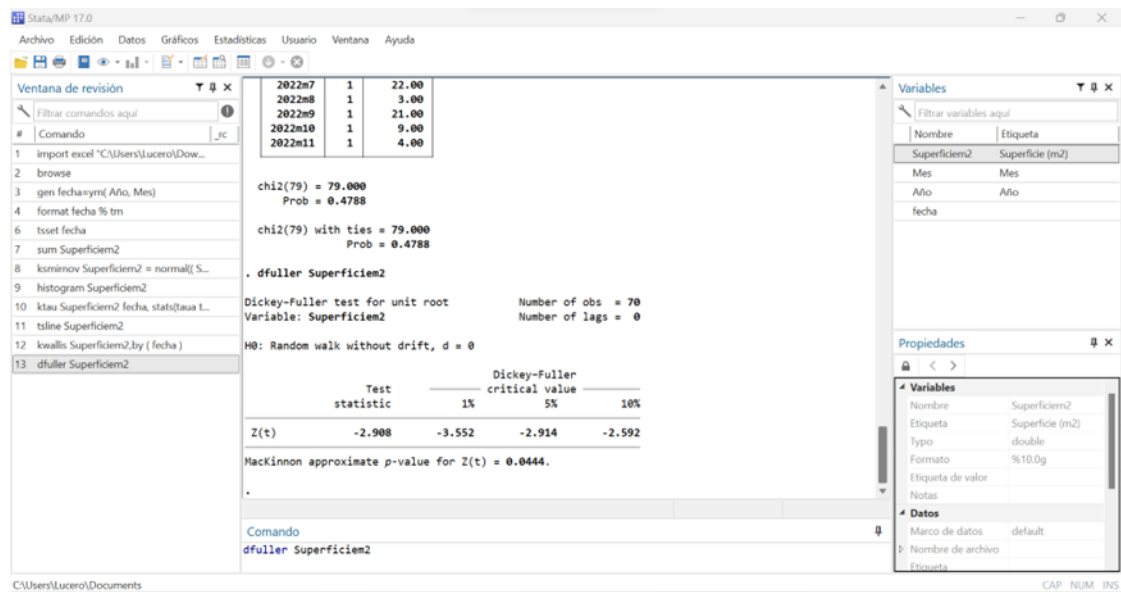


Figura 5: Proceso de identificación del Modelo Predictivo – Modelo ARMA (p,q)

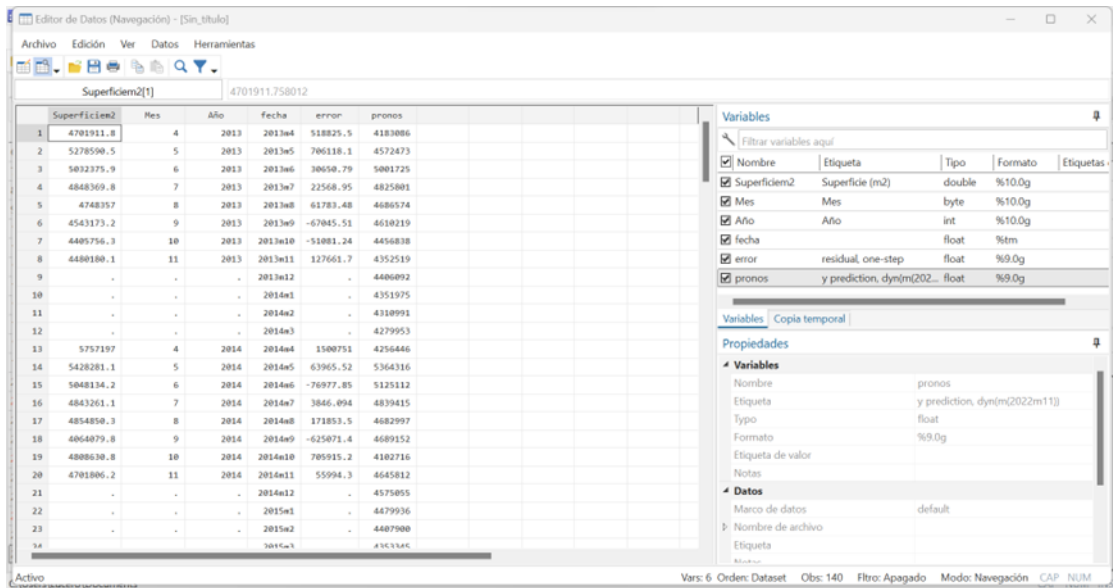
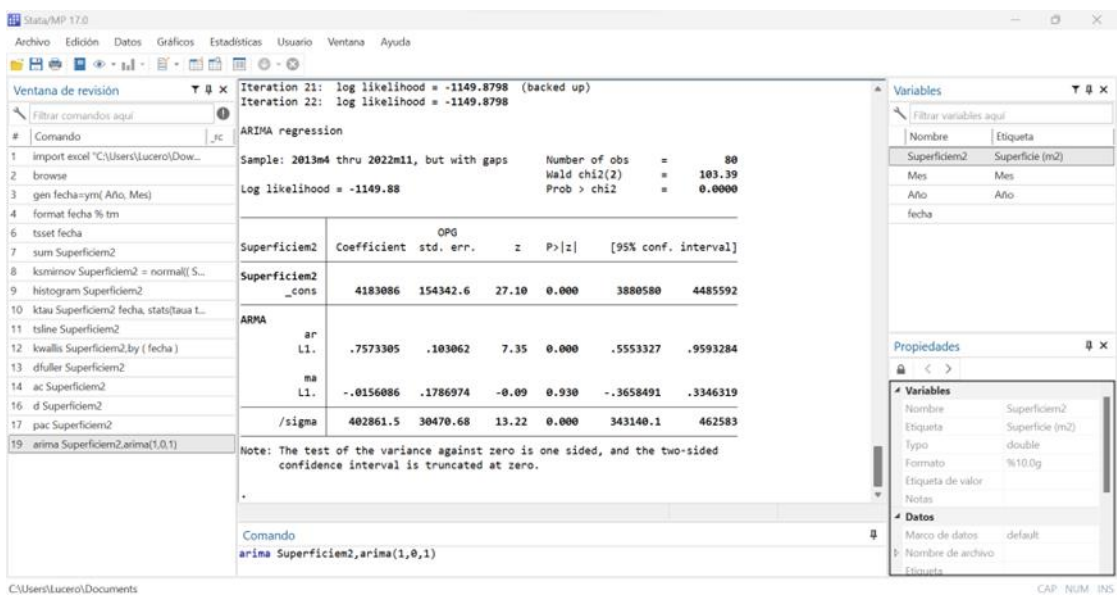


Figura 6: Proceso de Generación de datos hasta el 2026



Anexo 5: Valores de los datos generados mediante el modelo predictivo en el software STATA desde el año 2023 al 2026

MES	AÑO	FECHA	PRONOSTICO (m2)
4	2023	2023m4	4406092
5	2023	2023m5	4575055
6	2023	2023m6	4479936
7	2023	2023m7	4407900
8	2023	2023m8	4353345
9	2023	2023m9	3867954
10	2023	2023m10	3738288
11	2023	2023m11	3846227
4	2024	2024m4	4351975
5	2024	2024m5	4310991
6	2024	2024m6	4279953
7	2024	2024m7	4002342
8	2024	2024m8	4046203
9	2024	2024m9	3944427
10	2024	2024m10	3595763
11	2024	2024m11	3738288
4	2025	2025m4	4262941
5	2025	2025m5	4217773
6	2025	2025m6	3782601
7	2025	2025m7	3749181
8	2025	2025m8	3610146
9	2025	2025m9	3426560
10	2025	2025m10	3184148
11	2025	2025m11	3696025
4	2026	2026m4	4228887
5	2026	2026m5	4041747
6	2026	2026m6	4009892
7	2026	2026m7	3996457
8	2026	2026m8	3857693
9	2026	2026m9	3881117
10	2026	2026m10	3814220
11	2026	2026m11	3539957