

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE RECURSOS
NATURALES



**"ANÁLISIS MULTIESPECTRAL Y MULTITEMPORAL PARA
LA VALORACIÓN MULTIDIMENSIONAL DEL IMPACTO DE
LOS METALES PESADOS EN EL LAGO JUNÍN EN EL
PERIODO 2015 – 2020"**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL Y
DE RECURSOS NATURALES

BACH. JUAN FELICIANO NIETO SANTOS

A handwritten signature in black ink, appearing to be "Juan Feliciano Nieto Santos".

BACH. JORGE DAVID ALARCÓN ALVAREZ

A handwritten signature in black ink, appearing to be "Jorge David Alarcón Alvarez".

ASESOR:

Dr. JORGE QUINTANILLA ALARCÓN

A handwritten signature in black ink, appearing to be "Dr. Jorge Quintanilla Alarcón".

Callao, 2023
PERÚ



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES



(Resolución N° 019-2021-CU del 20 de enero de 2021)

ANEXO 2

ACTA N° 003-2023-JST-FIARN-UNAC DE SUSTENTACIÓN DE TESIS SIN CICLO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES

LIBRO N° 02 FOLIO N° 06 ACTA 003-2023-JST-FIARN-UNAC DE SUSTENTACIÓN DE TESIS SIN CICLO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES.

Al 30 día del mes de marzo del año 2023, siendo las 16:15 horas, se reunió en la sala Meet: Mg. Luís Enrique Lozano Vieytes, Dr. Miguel Ángel De La Cruz Cruz y Mtro. Carlos Odorico Tome Ramos, el JURADO DE SUSTENTACIÓN DE TESIS, según la resolución N° 046-2022-D-FIARN, para la obtención del título profesional de Ingeniero Ambiental y de Recursos Naturales de la facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales conformado por los siguientes docentes ordinarios de la Universidad Nacional del Callao:

Mg. Luís Enrique Lozano Vieytes
Dr. Miguel Ángel De La Cruz Cruz
Mtro. Carlos Odorico Tome Ramos
Dr. Jorge Quintanilla Alarcón

Presidente
Secretario
Vocal
Asesor

Se dio inicio al acto de sustentación de la tesis de los Bachilleres Jorge David Alarcón Alvarez y Juan Feliciano Nieto Santos, quien habiendo cumplido con los requisitos para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental y de Recursos Naturales, sustentan la tesis titulada: "ANÁLISIS MULTIESPECTRAL Y MULTITEMPORAL PARA LA VALORACIÓN MULTIDIMENSIONAL DEL IMPACTO DE LOS METALES PESADOS EN EL LAGO JUNÍN EN EL PERIODO 2015 – 2020", cumpliendo con la sustentación en acto público, de manera no presencial a través de la Plataforma Virtual, en cumplimiento de la declaración de emergencia adoptada por el Poder Ejecutivo para afrontar la pandemia del COVID-19, a través del D.S. N° 044-2020-PCM y lo dispuesto en el DU N° 026-2020 y en concordancia con la Resolución del Consejo Directivo N°039-2020-SUNEDU-CD y la Resolución Viceministerial N° 085-2020-MINEDU, que aprueba las "Orientaciones para la continuidad del servicio educativo superior universitario".

Con el quórum reglamentario de ley, se dio inicio a la sustentación de conformidad con lo establecido por el Reglamento de Grados y Títulos vigente. Luego de la exposición, y la absolución de las preguntas formuladas por el Jurado y efectuadas las deliberaciones pertinentes, acordó: Dar por **APROBADO** con la escala de calificación cualitativa **MUY BUENO** y calificación cuantitativa **DIECISEIS (16)**, la presente tesis, conforme a lo dispuesto en el Art. 27 del Reglamento de Grados y Títulos de la UNAC, aprobado por Resolución de Consejo Universitario N° 099-2021- CU del 30 de junio del 2021.

Se dio por cerrada la sesión a las 17:15 horas del día jueves 30 de marzo del año en curso.

Mg. Luís Enrique Lozano Vieytes
Presidente

Dr. Miguel Ángel De La Cruz Cruz
Secretario

Mtro. Carlos Odorico Tome Ramos
Vocal

Dr. Jorge Quintanilla Alarcón
Asesor

INFOMACIÓN BÁSICA

FACULTAD:

INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN:

PRE GRADO INGENIERIA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATIURALES

TÍTULO:

ANALISIS MULTIESPECTRAL Y MULTITEMPORAL PARA LA VALORACION MULTIDIMENSIONAL DEL IMPACTO DE LOS METALES PESADOS EN EL LAGO JUNÍN EN EL PERIODO 2015 – 2020.

AUTORES:

NIETO SANTOS, JUAN FELICIANO

Código Orcid: [0000-0001-6863-8949](https://orcid.org/0000-0001-6863-8949)

[DNI: 47431234](#)

ALARCÓN ÁLVAREZ, JORGE DAVID

Código Orcid: [0000 0003 2031 5125](https://orcid.org/0000-0003-2031-5125)

[DNI: 47512408](#)

ASESOR:

DR. JORGE QUINTANILLA ALARCÓN.

Código Orcid: [0000 0001 7481 0223](https://orcid.org/0000-0001-7481-0223)

[DNI: 07117522](#)

LUGAR DE EJECUCIÓN:

LAGO JUNIN Y SU ENTORNO AMBIENTAL

UNIDAD DE ANÁLISIS:

IMAGANES SATELITALES LANDSAT 8

TIPO DE INVESTIGACIÓN:

TIPO: APLICADA/ENFOQUE: CUALITATIVO-CUANTITATIVO/DISEÑO NO EXPERIMENTAL DE TIPO LONGITUDINAL

TEMA OCDE:

CIENCIAS AMBIENTALES

DEDICATORIA

Dedicamos esta investigación principalmente a nuestros padres y familiares que en todo el camino de nuestra formación siempre confiaron en nosotros y fueron el motivo principal pese a las circunstancias que actualmente vivimos para nunca rendirnos. Y también para todos los jóvenes investigadores a que nunca se rindan por más difícil que sean las circunstancias que estén pasando.

AGRADECIMIENTO

A nuestras familias por ser el soporte moral que estuvieron en cada momento y nos incentivaron a culminar esta investigación.

A nuestro asesor Dr. Jorge Quintanilla Alarcón, por su confianza, apoyo, orientación, paciencia y amplia experiencia académica durante el desarrollo de esta investigación.

A nuestro jurado por su constante apoyo, paciencia y seguimiento en todo el proceso de nuestro proyecto de tesis hasta el informe final.

A nuestra casa de estudios, la facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales por apoyarnos en nuestra formación y brindarnos el conocimiento adquirido. Además, agradecemos a los pobladores de los distritos colindantes al lago Junín, por su gentileza, apoyo y colaboración para esta investigación.

Por último, a todas las personas que de alguna manera influyeron en nuestro desarrollo profesional con sus aportes, consejos y experiencias.

INDICE

INTRODUCCIÓN	1
I.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.1. Descripción de la realidad problemática	2
1.2. Formulación del problema.....	3
1.2.1. Problema General	3
1.2.2. Problemas Específicos	3
1.3. Objetivos de la investigación.....	4
1.3.1. Objetivo general	4
1.3.2. Objetivos específicos	4
1.4. Justificación	4
1.4.1. Teórica	4
1.4.2. Tecnológica y económica	5
1.4.3. Ambiental	5
1.4.4. Legal	6
1.5. Delimitantes de la investigación	6
1.5.1. Teórica	6
1.5.2. Temporal	6
1.5.3. Espacial	7
II.- MARCO TEÓRICO	8
2.1. Antecedentes del estudio.....	8

2.1.1. Internacional.....	8
2.1.2. Nacionales	16
2.2. Bases teóricas	20
2.2.1. Análisis multiespectral	20
2.2.2. Firmas espectrales	22
2.2.3. Análisis multitemporal.....	27
2.2.4. Marco Legal Ambiental Aplicable	38
2.3. Marco Conceptual.....	42
2.3.1. Ecosistema acuático	42
2.3.2. Ecosistema lacustre	44
2.3.3. Teledetección Espacial.....	45
2.3.4. Sensores remotos	47
2.3.5. Radiaciones electromagnéticas.....	48
2.3.6. Imágenes satelitales.....	53
2.3.7. Impacto ambiental	59
2.3.8. Metales pesados	60
2.4. Definiciones de términos básicos.....	65
III.- HIPÓTESIS Y VARIABLES.....	68
3.1. Hipótesis.....	68
3.1.1. Hipótesis general.....	68
3.1.2. Hipótesis específicas.....	68
3.1.3. Operacionalización de las variables	70

IV.- METODOLOGIA DEL PROYECTO	71
4.1. Diseño metodológico	71
4.1.1. Tipo, enfoque y nivel de investigación	71
4.1.2. Diseño de investigación.....	71
4.2. Método de investigación	72
4.3. Población y muestra	77
4.3.1. Población	77
4.3.2. Muestra	77
4.4. Lugar de estudio y periodo desarrollado	77
4.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de la información.....	79
4.5.1. Técnicas.....	79
4.5.2. Trabajo de campo	80
4.6. Análisis y procesamiento de datos.....	82
4.7. Aspectos éticos en investigación	90
V.- RESULTADOS	92
5.1. Resultados descriptivos	92
5.1.1. Concentración y distribución del cobre (Cu)	96
Comportamiento multiespectral	96
5.1.2. Distribución multitemporal	97
5.1.3. Concentración y distribución del plomo (Pb) Comportamiento	
multiespectral	104
5.1.4. Distribución multitemporal	104

5.1.5. Concentración y distribución del zinc (Zn)	112
5.1.6. Distribución multitemporal	113
5.1.7. Prueba de laboratorio	120
5.1.8. Valoración multidimensional de los impactos	127
5.1.9. Valoración de la magnitud del impacto	129
5.2. Resultados inferenciales	146
5.2.1. Concentración y distribución del Cobre (Cu)	146
5.2.2. Concentración y distribución del Plomo (Pb)	148
5.2.3. Concentración y distribución del Zinc (Zn) Prueba de normalidad	151
5.2.4. Correlación entre muestreo espectral y muestreo directo	155
5.2.5. Valoración de la magnitud del impacto	156
5.2.6. Valoración de la frecuencia del Impacto Prueba de alfa de Cronbach ...	166
VI.- DISCUSIÓN DE RESULTADOS	169
6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados	169
6.2. Contrastación de los resultados con otros estudios similares	173
6.3. Responsabilidad ética de la investigación	177
CONCLUSIONES	178
RECOMENDACIONES	179
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	180
ANEXOS	189
Anexo N° 1: Matriz de Consistencia	190
Anexo N° 2: Ficha de Registro de Series Multitemporales	192

Anexo N° 3: Ficha de Registro de Niveles y concentración en mg/L.....	193
Anexo N° 4: Ficha de Registro de Recolección de muestras en los puntos de control.....	194
Anexo N° 5: Ficha cuestionario de encuesta 1.....	195
Anexo N°6: Ficha cuestionario 2.....	196
Anexo N° 7: Instrumento Opinión de Experto	198
Anexo N° 8: Normas ECA.....	200
Anexo N° 9: Mapas.....	202
Base de datos	203
Anexo N° 10: Alfa de Cronbach para los datos muestrales del Cu.....	203
Anexo N° 11: Alfa de Cronbach para datos del Pb	204
Anexo N° 12: Alfa de Cronbach para los datos del Zn	205
Anexo N° 13: Prueba de alfa de Cronbach para datos frecuencia de metales pesados.....	206
Anexo 14: Tabla de correlación de Pearson	207
Anexo 15: Tabla de Alfa de Cronbach	207
Panel fotográfico	208
Anexo N° 16: Toma de muestras en el lago Junín.....	208
Anexo N° 17: Toma de encuestas a los pobladores aledaños al lago Junín	209
Anexo N° 18: Panorama paisajístico y escénico	212
Anexo N° 19: Flora y fauna.....	212
Resultados de laboratorio	213

Anexo N° 20: Resultados de las muestras analizadas en el laboratorio.....	213
Anexo N° 21: Informe de ensayo	214
Anexo N° 22: Orden de trabajo de ensayos de laboratorio	215

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Imágenes multiespectrales y firmas espectrales	21
Figura 2 Comportamiento espectral de los cuerpos como tipología de minerales y roca.....	23
Figura 3 Curva de la reflectancia.....	24
Figura 4 Longitud de onda	25
Figura 5 Distribución espectral de emisividades.....	26
Figura 6 Series temporales	30
Figura 7 Impacto ambiental y calidad ambiental.....	32
Figura 8 Calidad visual del paisaje	33
Figura 9 Fondo escénico del paisaje	35
Figura 10 Escala de valoración Likert.....	37
Figura 11 Niveles de situación de las especies	38
Figura 12 El lago Chinchaycocha, el segundo lago más extenso del Perú	43
Figura 13 Zonas ecológicas de ecosistemas de agua dulce.....	45
Figura 14 Proceso de la teledetección espacial.....	46
Figura 15 El espectro electromagnético	49
Figura 16 Curvas espectrales según la temperatura	50
Figura 17 Ley desplazamiento de la onda según la temperatura.....	52
Figura 18 Energía de cuerpo proporcional a su temperatura absoluta	53
Figura 19 Niveles de NDVI en una imagen satelital.....	54
Figura 20 Dimensión espacial y espectral de una imagen satelital.....	55
Figura 21 Estructura 3D de la imagen multiespectral de Landsat 7	56
Figura 22 Evolución del impacto ambiental	60
Figura 23 Distribución de metales pesados.....	61

Figura 24 Degradación de lago Junín por relaves mineros.....	62
Figura 25 Componentes de un espectrómetro de absorción atómica	63
Figura 26 Componentes de la espectroscopia de emisión atómica	64
Figura 27 Secuencia metodológica de la presente investigación.....	73
Figura 28 Diagrama de algoritmo de simulación.....	75
Figura 29 Metodología de AG para los tres metales pesados	76
Figura 30 Límites y dimensiones del área de estudio	78
Figura 31 Mirador de Ondores	80
Figura 32 Zona de mayor impacto del lago Junín.....	81
Figura 33 Imagen satelital del lago Junín con corrección geométrica y atmosférica .	85
Figura 34 Color natural Landsat 8 (4,3,2)	86
Figura 35 Falso color (para zonas urbanas) Landsat 8 (7,6,4)	86
Figura 36 Infrarrojo (para vegetación) Landsat 8 (5,4,3).....	87
Figura 37 Agricultura: Landsat 8 (6,5,2)	87
Figura 38 Usos del suelo/masas de agua: Landsat 8 (5,6,4)	88
Figura 39 Infrarrojo de onda corta: Landsat 8 (7,5,4)	88
Figura 40 Análisis de vegetación sana: Landsat 8 (5,6,2)	89
Figura 41 Concentración del Zn en temporada seca	93
Figura 42 Concentración del plomo en temporada seca.....	94
Figura 43 Concentración del cobre en temporada seca	95
Figura 44 Distribución y concentración del Cu en época lluviosa	97
Figura 45 Distribución y concentración del Cu en época de sequía.....	99
Figura 46 Variación multitemporal de la distribución del Cu	101
Figura 47 Distribución del Cu para todas las series multitemporales.....	102
Figura 48 Series multitemporales y variaciones espaciales del Cu, OCT2016	103

Figura 49 Distribución y concentración del Pb en época lluviosa	105
Figura 50 Distribución y concentración del Pb en época de sequía	106
Figura 51 Variación multitemporal de la distribución del Pb.....	109
Figura 52 Distribución del Pb para todas las series multitemporales	110
Figura 53 Series multitemporales y variaciones espaciales del Pb.....	111
Figura 54 Distribución y concentración del Zn en época lluviosa.....	113
Figura 55 Distribución y concentración del Zn en época de sequía	114
Figura 56 Variación multitemporal de la distribución del Zn.....	117
Figura 57 Distribución del Zn para todas las series multitemporales	118
Figura 58 Series multitemporales y variaciones espaciales del Zn.....	119
Figura 59 Valores comparativos entre muestreados y análisis espectral.....	124
Figura 60 Comparativa de error para Cu	125
Figura 61 Comparativa de error para Pb	126
Figura 62 Comparativa de error para Zn	126
Figura 63 Centros poblados encuestados	128
Figura 64 Magnitud del impacto según la percepción de la población	137
Figura 65 Contaminación de la calidad del agua	141
Figura 66 Degradación de la calidad visual	142
Figura 67 Degradación de la calidad escénica	143
Figura 68 Impacto sobre la flora acuática.....	144
Figura 69 Impacto sobre la fauna acuática.....	145
Figura 70 Concentración y evolución del Cu en el lago Junín	148
Figura 71 Concentración y evolución del plomo en el lago Junín	151
Figura 72 Concentración y evolución del plomo en el lago Junín	154

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Indicadores y unidad de medida de firmas espectrales	22
Tabla 2 Indicadores y unidad de medida de series multitemporales	29
Tabla 3 Dimensiones e indicadores de la variable: Valoración multidimensional.	31
Tabla 4 Tabla de valoración de elementos de calidad visual	34
Tabla 5 Tabla de valoración de elementos de calidad estética	36
Tabla 6 Niveles de resolución de sensores comunes	57
Tabla 7 Definición conceptual de las variables	69
Tabla 8 Operacionalización de las variables	70
Tabla 9 Serie temporales de imágenes satelitales Landsat 8	83
Tabla 10 Niveles de concentración de Cu en el lago Junín	96
Tabla 11 Distribución multitemporal del Cu según las series correspondientes.....	100
Tabla 12 Niveles de concentración de Pb en el lago Junín	104
Tabla 13 Distribución multitemporal del Pb según las series correspondientes	108
Tabla 15 Distribución multitemporal del Zn según las series correspondientes	116
Tabla 16 Puntos de control y muestreo en el lago Junín	120
Tabla 17 Comparativo de la M1	121
Tabla 18 Comparativo de la M2	122
Tabla 19 Comparativo de la M3	122
Tabla 20 Valores comparativos entre muestreados y análisis espectral	123
Tabla 21 Centros poblados encuestados	127
Tabla 22 Ítems de preguntas para evaluar la magnitud del impacto	129
Tabla 23 Magnitud del impacto del Cu según percepción de la población.....	130
Tabla 24 Magnitud del impacto del Pb según percepción de la población	132
Tabla 25 Magnitud del impacto del Zn según percepción de la población	134

Tabla 26 Magnitud del impacto de los metales pesados	136
Tabla 27 Ítems de preguntas para evaluar la frecuencia del impacto	138
Tabla 28 Frecuencia del impacto de los metales pesados	139
Tabla 29 Prueba de normalidad datos de estación húmeda y seca.....	146
Tabla 30 Correlaciones de Pearson para Cu.....	147
Tabla 31 Prueba de normalidad datos de estación húmeda y seca.....	149
Tabla 32 Correlaciones de Pearson para Pb.....	150
Tabla 33 Prueba de normalidad datos de estación húmeda y seca.....	152
Tabla 34 Correlaciones de Pearson para Zn	153
Tabla 35 Comparativa de error para los metales pesados	155
Tabla 36 Correlación de Pearson comparativo.....	156
Tabla 37 Prueba de normalidad para datos del Cu	157
Tabla 38 Prueba de normalidad para impacto del Cu.....	158
Tabla 39 Prueba de normalidad para impacto del Pb.....	159
Tabla 40 Correlaciones percepción de la población Vs Pb.....	161
Tabla 41 Prueba de normalidad para los datos del Zn	162
Tabla 42 Correlaciones percepción de la población Vs Zn	164
Tabla 43 Prueba de correlación de Pearson entre la V1 y V2	165
Tabla 44 Correlaciones de Pearson para frecuencia de contaminación de los metales pesados	168

RESUMEN

Este estudio tuvo como objetivo determinar la eficacia del análisis multiespectral y multitemporal para la valoración multidimensional de los impactos ocasionados por los metales pesados en las aguas del lago Junín, en el periodo 2015 – 2020. Se trata de una investigación de nivel explicativo, con diseño de investigación no experimental, de enfoque cualitativo y cuantitativo, que empezó con el procesamiento digital de las imágenes de satélite de Landsat 8 haciendo las correcciones geométricas, y radiométricas. Luego la combinación de bandas espectrales, el cálculo de índices y la aplicación del Algoritmo Genético para analizar las firmas espectrales y resaltar el índice de reflectancia y emisividad de los siguientes metales pesados: Cu, Pb, y Zn, para conocer la magnitud de sus impactos a la vez que se armó series temporales de las imágenes, para conocer la variación espacio temporal de los contaminantes en el lago Junín. A continuación, se hizo el muestreo directo y la prueba de laboratorio según la Guía que establece el DS N° 004-2017-MINAM, para corroborar la eficacia del muestreo espectral. Finalmente, para la valoración multidimensional del impacto de los metales pesados, se hicieron encuestas de campo sobre la base del Método Delphi, para conocer la percepción de la población y la Matriz de Leopold para insertar los datos cuantitativos integrados en la Escala de Likert. Los resultados demostraron el alto grado de similitud entre datos de muestreo multiespectral y muestreo directo, con una eficacia del 96%. Así mismo se comprobó la alta correlación de la percepción de la población respecto a la magnitud de los impactos ocasionados por la concentración y dispersión de los metales en las aguas del lago Junín. Se verificó alta correlación entre los altos niveles del impacto metales pesados con los altos niveles de valoración de la percepción de la población.

Palabras claves: Análisis multiespectral, análisis multitemporal, análisis multidimensional, algoritmo genético, series multitemporales.

ABSTRACT

The objective of this study was to determine the effectiveness of the multispectral and multitemporal analysis for the multidimensional assessment of the impacts caused by heavy metals in the waters of Lake Junín, in the period 2015 - 2020. It is an explanatory level investigation, with a design Non-experimental research, with a qualitative and quantitative approach, which began with the digital processing of Landsat 8 satellite images, making geometric and radiometric corrections. Then the combination of spectral bands, the calculation of indices and the application of the Genetic Algorithm to analyze the spectral signatures and highlight the reflectance and emissivity index of the following heavy metals: Cu, Pb, and Zn, to know the magnitude of their impacts. At the same time, time series of the images were assembled, to know the spatio-temporal variation of the contaminants in Lake Junín. Next, the direct sampling and the laboratory test were carried out according to the Guide established by DS N° 004-2017-MINAM, to corroborate the effectiveness of the spectral sampling. Finally, for the multidimensional assessment of the impact of heavy metals, field surveys were carried out based on the Delphi Method, to know the perception of the population and the Leopold Matrix to insert the quantitative data integrated into the Likert Scale. The results demonstrated the high degree of similarity between data from multispectral sampling and direct sampling, with an efficiency of 96%. Likewise, the high correlation of the perception of the population regarding the magnitude of the impacts caused by the concentration and dispersion of metals in the waters of Lake Junín was verified. A high correlation was verified between the high levels of heavy metal impact with the high levels of assessment of the perception of the population.

Keywords: Multispectral analysis, multitemporal analysis, multidimensional analysis, genetic algorithm, multitemporal series.

INTRODUCCIÓN

La valoración multidimensional de los impactos ambientales, mediante el análisis multiespectral y multitemporal, es un procedimiento técnico y científico para la cuantificación de los impactos ambientales sobre grandes ecosistemas como el lago Junín, así el análisis espectral y multitemporal permiten medir, respectivamente, la magnitud y frecuencia de los impactos.

A nivel mundial el análisis multiespectral y multitemporal, se aplica para estudios ambientales relacionados a cuencas, cuerpos de agua, cubiertas vegetales, sistemas urbanos, sistemas ecológicos, en ese sentido, los países que han desarrollado la tecnología aeroespacial son los más avanzados en este campo.

En el Perú no se ha reportado investigaciones relacionadas a la aplicación del análisis multiespectral y multitemporal para la evaluación y control de los impactos ambientales, sino de forma muy restringida. Algunas de ellas gira en el nivel exploratorio de pequeñas unidades de análisis como un ecosistema de pantanos.

En ese sentido la finalidad de esta investigación, es la valoración multidimensional de los impactos que recibe el lago Junín por acumulación de metales pesados, mediante la siguiente secuencia metodológica: Procesamiento digital de las imágenes satelitales, corrección geométrica y radiométrica de las mismas, combinación de bandas espectrales, diseño de algoritmos genéticos, muestreo espectral, muestreo directo, análisis de series temporales, así como las encuestas de campo para la valoración multidimensional de los campos mediante de la percepción de la población.

I.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

A nivel mundial, la aplicación del análisis multiespectral y multitemporal de las imágenes satelitales para la evaluación de los impactos ambientales, se constituyen cada vez más en una opción estratégica y muy eficaz (**Muñoz et al., 2015**). Así, por ejemplo, el lago Victoria, el más extenso de África, se encuentra en un proceso de contaminación masiva, debido a problemas de infraestructura de alcantarillado, al flujo constante de aguas residuales, fertilizantes, residuos sólidos de plásticos, en tanto el lago Karachai de Rusia se ha convertido en el más contaminado del mundo con residuos radiactivos **Montoya Cano, (2015)**. El conocimiento de la magnitud y frecuencia del impacto en estos lagos han sido revelado mediante las imágenes satelitales. El conocimiento de la dispersión espacial y la naturaleza de los contaminantes en estos cuerpos de agua se sustenta en el análisis de las imágenes satelitales, una técnica no invasiva, estratégica y muy eficaz, que utilizan las economías desarrolladas como Canadá para la conservación, protección y monitoreo de sus ecosistemas lacustres **Faciu et al., 2016**.

En América Latina, es muy restringido el uso de imágenes satelitales para la evaluación de los impactos que reciben los ecosistemas lacustres y por eso mismo no hay planes de manejo ambiental óptimos para la restauración de los ecosistemas degradados. En esta región del mundo, en la actualidad los siguientes lagos se encuentran como los más contaminados: Lago San Roque, lago de Bariloche ambos en Argentina; Lago de Cana Brava, lago Da Mesa en Brasil; Lago de Sochagota de Paipa en Colombia y lago de Chungara en Chile **Alata Mollon, (2018)**.

Este mismo problema es recurrente en el Perú donde no se utiliza de forma sustentada las imágenes satelitales para la evaluación de los impactos ambientales,

a pesar de que los ecosistemas lacustres como los pantanos de Ventanilla, Villa y el lago Titicaca se encuentran en un proceso irreversible de degradación invasiva **Quezada García, (2019)**. Así mismo el lago Junín recibe impactos derivados principalmente de los vertimientos mineros portadores de metales pesados como el Cu, Pb y Zn. Por eso mismo urge aplicar un método eficaz para la valoración multi dimensional de los impactos ambientales mediante el uso de la técnica de la teledetección espacial basadas en el análisis multitemporal y multiespectral de las imágenes satelitales LANDSAT 8.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema General

¿En qué medida el análisis multiespectral y multitemporal permiten la valoración multidimensional del impacto de los metales pesados en el lago Junín en el periodo 2015 – 2020?

1.2.2. Problemas Específicos

- ¿De qué manera el análisis multiespectral y multitemporal permiten la valoración multidimensional del impacto del cobre en el lago Junín en el periodo 2015-2020?
- ¿De qué manera el análisis multiespectral y multitemporal permiten la valoración multidimensional del impacto del plomo en el lago Junín en el periodo 2015-2020?
- ¿De qué manera el análisis multiespectral y multitemporal permiten la valoración multidimensional del impacto del zinc en el lago Junín en el periodo 2015-2020?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

Determinar en qué medida el análisis multiespectral y multitemporal permiten la valoración multidimensional del impacto de los metales pesados en el lago Junín en el periodo 2015 – 2020.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar de qué manera el análisis multiespectral y multitemporal permiten la valoración multidimensional del impacto del cobre en el lago Junín en el periodo 2015 – 2020.
- Determinar de qué manera el análisis multiespectral y multitemporal permiten la valoración multidimensional del impacto del plomo en el lago Junín en el periodo 2015 – 2020.
- Determinar de qué manera el análisis multiespectral y multitemporal permiten la valoración multidimensional del impacto del zinc en el lago Junín en el periodo 2015 – 2020.

1.4. Justificación

1.4.1. Teórica

La combinación análisis multitemporal - análisis multitemporal es una técnica muy potente para realizar evaluaciones ambientales de alta precisión con muchas ventajas comparativas tales como el costo, es un instrumento poco explorado en el Perú a pesar de su eficacia cuantitativa, su significado estratégico y análisis prospectivo (Muñoz et al., 2015). Su aplicación permite conocer el comportamiento espacio- temporal de los contaminantes, así como identificar sus propiedades físicas

y químicas a través de sus firmas espectrales. En ese sentido esta investigación brinda aportaciones teóricas y metodológicas para afianzar investigaciones relacionadas a la contaminación de los cuerpos de agua, en este caso en el lago Junín, mediante la teledetección.

1.4.2. Tecnológica y económica

La tecnología aeroespacial basada principalmente en las plataformas satelitales y principios físicos del espectro electromagnético es un campo tecnológico y científico que despliega conocimientos muy variados y de alto nivel en las investigaciones nacionales toda vez que se complementan con software cada vez más potentes, así como la aplicación de drones versátiles que abaratan la evaluación de los impactos ambientales.

1.4.3. Ambiental

La presente investigación contribuye al desarrollo de los Eje 1 y Eje 2 de la Política Nacional del Ambiente. El primero está orientado a la conservación y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y de la diversidad biológica. El segundo se enfoca en la gestión integral de la calidad ambiental. En este último es donde encaja la justificación de esta investigación como sustentada.

Esta investigación contribuye al establecimiento de herramientas eficaces para la formulación de un Plan de Manejo Ambiental de largo plazo para el lago Junín. Asimismo, también es útil como herramienta de evaluación estratégica a diferentes escalas espaciales de los recursos hídricos, biodiversidad, suelos, paisaje agrario, el paisaje urbano y glaciares, toda vez que la teledetección brinda información visual basada en la perspectiva ortogonal y cónica. Adicionalmente también brinda puntos de control georreferenciados para el diseño de un plan de muestreo preliminar en múltiples proyectos ambientales.

1.4.4. Legal

Esta investigación tiene justificación legal porque se sustenta en la Ley 28611 (Ley General del Ambiente) y las normas Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Límite Máximos Permisibles (LMP)(MINAM, 2006), como herramientas de análisis y control para la valoración multidimensional de los impactos ambientales, relacionados a la acumulación de los metales pesados en el lago Junín.

1.5. Delimitantes de la investigación

Las múltiples delimitaciones que se consideró para la presente investigación se explicaron en función a los siguientes parámetros:

1.5.1. Teórica

En el presente estudio se realizó el análisis multiespectral y multitemporal, relacionados a la valoración multidimensional de los impactos ambientales, por eso mismo esta investigación se circunscribió estrictamente al muestreo espectral, análisis de series temporales, muestreo directo y análisis de la percepción de la población.

1.5.2. Temporal

La investigación se hizo en dos años. El primero en una época de estación seca (Alarcón Montaña & Rozo Arango, 2020) y el segundo en época de estación lluviosa. Durante la estación seca, periodo comprendido entre abril y noviembre, es cuando se hizo el muestreo directo en campo toda vez que era más fácil visualizar la forma y extensión que configuraban los contaminantes en las aguas del lago Junín. En cambio, durante la estación lluviosa las precipitaciones y las nubes amortiguan los niveles de contaminación.

1.5.3. Espacial

La dimensión espacial de la presente investigación se circunscribe estrictamente en la forma y dimensión que configura el lago Junín. Se trata de una superficie de 530 Km² y área adyacente al litoral de 200 metros.

II.- MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del estudio

2.1.1. Internacional

Li et al., (2010) en su trabajo de investigación titulado “Teledetección hiperespectral en el monitoreo de la contaminación por metales pesados en la vegetación” tuvo como objetivo construir un modelo de regresión de las características espectrales para el contenido de metales pesados, y se testificó la viabilidad de la teledetección hiperespectral en la vigilancia de la contaminación ambiental en la mina de cobre en Dexing.

Aporte para la presente investigación:

Permitió validar el modelo de muestreo espectral basado en las firmas espectrales, para conocer los niveles de reflectancia y la naturaleza química de las sustancias

Chen et al. (2012) en su trabajo de investigación titulado “Estimación de la concentración de metales pesados en las aguas del estuario del río Pearl a partir de datos de teledetección” tuvo como objetivo realizar ocho cruceros para la recopilación de datos in situ en el estuario del río Pearl en agosto, octubre, noviembre, diciembre de 2009 y febrero, marzo, julio y octubre de 2010, respectivamente. Para ello utilizó un método por encima del agua para medir la reflectancia de la teledetección (Rrs). El resplandor que sale del agua, el resplandor reflejado por un panel de referencia con reflectancia del 25% y el resplandor del cielo se midieron a su vez 3 veces utilizando el espectrómetro Ocean Optics USB4000 (rango de longitud de onda de 346 a 1037 nm con una resolución espectral de 0.22.

El estudio se basó en el análisis de las firmas espectrales para identificar la naturaleza física y química los contaminantes del agua. Llego a la conclusión que el comportamiento de las ondas electromagnéticas en términos de su frecuencia e intensidad es un indicador muy eficaz para la evaluación de los impactos ambientales en cuerpos de agua, aumentando su eficacia conforme aumenta su grado de resolución espacial y espectral.

Aporte para la presente investigación:

Permite combinar bandas espectrales de diferentes resoluciones para identificar los niveles de reflectancia en superficies de aguas contaminadas.

Montoya Cano, (2015) en su trabajo de investigación titulado “Identificación de drenajes ácidos de mina con sensores remotos” tuvo como objetivo identificar los drenajes con problemas de acidez en una zona del distrito minero Vetas California en Santander, Colombia, para lo cual analizó el pH, la composición mineralógica y la reflectancia espectral de los sedimentos en una zona de minería aurífera, con el propósito de determinar la firma espectral típica del tipo de sedimento asociado a cada rango de pH y con base en ello identificar en imágenes de satélite las áreas afectadas por drenajes ácidos.

De acuerdo con los resultados, en los drenajes de mina se precipitan óxidos de hierro, cada uno asociado a condiciones específicas de pH, cuyo comportamiento espectral está relacionado con el de los sedimentos analizados. Los sedimentos de pH ácido presentan una mayor reflectancia que los sedimentos de pH neutro a alcalino en el intervalo espectral de 375 a 935 nm y gracias a estas diferencias en la reflectancia fue posible, usando imágenes satelitales, separar los sedimentos de acuerdo con su pH y entonces de forma indirecta identificar los drenajes con problemas de acidez en el área de estudio.

Aporte para la presente investigación:

El aporte de esta investigación permitió establecer la correlación entre las propiedades químicas de los sedimentos y su nivel de reflectancia. Así el Cu, el Pb y el Zn tiene niveles de reflectancia según su naturaleza química en términos de PH.

González Bustos & González Mahecha, (2015) en su trabajo de investigación titulado “Análisis multitemporal del espejo de agua en la laguna de Fúquene para el periodo de 1985 a 2015” tuvo como objetivo realizar el análisis de la pérdida del espejo de agua de la Laguna de Fúquene que se ubica en el departamento de Cundinamarca, que ha sufrido gran cambio y una desecación acelerada debido a la intervención humana, para los cuales utilizaron imágenes obtenidas del satélite Landsat entre el periodo de 1985 a 2015. Determinaron las coberturas para establecer la detección de cambios del área que representa la lámina de agua, además del análisis de las variables de precipitación, temperatura y evaporación a lo largo del mismo periodo de tiempo, con el fin de observar los efectos del cambio climático y su incidencia sobre el ecosistema. Se concluye que las imágenes satelitales, en secuencia de tiempos permiten cuantificar los cambios que experimentan los impactos ambientales en su distribución real. Llego a la conclusión que el área del espejo de agua de la laguna disminuyó del año 1985 al 2000 en 1,001 ha, es decir un 53.7% y del año 2000 al 2015 en 392 ha equivalente al 45.4%. El espejo de agua presentó una disminución del 38% en el año 1985, 71% en el año 2000 y un 84% para el año 2015.

Aporte para la presente investigación:

Esta investigación permitió el diseño del análisis temporal de las imágenes de satélite para validar los cambios decrecientes en la extensión de espejos de agua, y para este propósito los cambios de dispersión del Pb, Zn y Cu.

Faciú et al., 2016, en su trabajo de investigación titulado “Identificación de la contaminación histórica en el lago Bacau I, Rumania, utilizando GIS e imágenes de satélite” tuvo como objetivo probar si la contaminación histórica de la data se puede identificar utilizando la concentración de metales pesados en el agua como indicadores y el análisis de mapas de distribución espacial e imágenes de satélite como métodos. Los autores, se tomaron muestras de agua de 30 localidades cercanas a los bancos y determinaron las concentraciones de Cd y Mn. Elaboraron mapas de distribución destacando zonas de altas concentraciones, ubicadas en la margen derecha en las mismas áreas que las tuberías de descarga, confirmando la hipótesis de investigación. Luego mediante el análisis de las imágenes satelitales del lago, estimaron los flujos de transporte de contaminantes. Mediante el análisis de la distribución espacial de los metales pesados en el agua utilizando GIS e imágenes de satélite identificó la contaminación histórica de los bancos. Además. Llegó a la conclusión a definir la eficacia de los métodos de teledetección espacial a un nivel de significancia del 95%.

Aporte para la presente investigación:

Esta investigación permite aplicar múltiples técnicas de la teledetección como la combinación de bandas espectrales y la obtención de resultados inferenciales óptimos que sustentan las hipótesis.

Nieves Cuervo, (2016) en su trabajo de investigación titulado “Utilización de imágenes multiespectrales para el análisis del comportamiento de la firma espectral del lago de Tota y la influencia de los cultivos de cebolla” tuvo como objetivo principal determinar los cambios en la firma espectral del lago para el periodo comprendido entre 2000 y 2016. Para su desarrollo fueron utilizadas imágenes Landsat 7 ETM, ALOS AVNIR-2 y Landsat 8 OLI/TIRS, tomadas en las fechas definidas, las cuales

fueron tratadas con técnicas de procesamiento digital de imágenes, para finalmente obtener la firma espectral de diez puntos de muestra, distribuidos alrededor del lago. Los resultados mostraron en las tres imágenes evidencias de cambios de las firmas espectrales en el periodo de 16 años. Se comprobó mediante la comparación de la firma espectral del 2000 con la del 2016, cambios irreversibles donde la presencia de la clorofila en el agua pasó a ser nula, puesto que no se tuvo una respuesta en la banda del verde.

Aporte para la presente investigación:

Esta investigación permite aplicar múltiples técnicas de la teledetección, así como procedimientos metodológicos relacionados con la aplicación de tecnologías digitales para la evaluación de las firmas espectrales y su correspondiente complemento relacionado con la toma de muestras en puntos estratégicos. Así mismo permite identificar los procesos en una serie de tiempos, obteniendo resultados satisfactorios válidos para una toma de decisión correcta.

Bremer Bremer et al., (2016) en el artículo de investigación titulado “Caracterización de niveles de contaminación en una planta extractora de azufre utilizando imágenes de satélite de alta resolución para optimizar el plan de muestreo”, los autores tuvieron como objetivo determinar las áreas contaminadas dentro y alrededor de la mina usando datos de alta resolución y SIG y determinar los volúmenes de material que requieren trabajos de remediación. Los resultados indican que el volumen a remediar. Hicieron un mapeo del área de estudio y establecieron varios puntos de control para medir la contaminación de los metales pesados provenientes de una planta extractora de azufre y luego hicieron la comparación con los registros satelitales obtenidos mediante el procesamiento multiespectral en GIS.

Llegaron a la conclusión en validar la eficacia de los métodos espectrales a nivel de 90% de la eficacia de los muestreos directos, en cuanto a la medición de los

contaminantes de metales pesados en cuerpos de agua, resultados que fueron representados cartográficamente mediante mapas de niveles de contaminación

Aporte para la presente investigación:

Permite hacer el comparativo de los resultados de dos poblaciones de muestras e identificar su grado de eficacia mediante la estadística inferencial.

Martínez García, (2017) en su trabajo de investigación titulado “Monitorización de la calidad del agua en embalses mediante técnicas de observación remota” tuvo como objetivo estudiar las técnicas de observación remota de la tierra mediante satélites para estimar la calidad del agua en embalses y lagos a través de los satélites Sentinel y Landsat, para lo cual utilizo como principal parámetro la concentración de la clorofila en el agua, ya que altos valores indican problemas de eutrofización en el agua, para ello trabajo con imágenes multiespectrales, analizando las bandas que están relacionadas con el espectro de reflectancia de la masa de agua que es característico de la presencia de clorofila. Aplico el método de la comparación entre el muestreo espectral y el muestreo directo obtenidos mediante instrumentación in-situ en los últimos años. De igual manera demostró el grado de eficacia de los métodos espectrales en la caracterización de los impactos ambientales en cuerpos de agua.

Aporte para la presente investigación:

En esta investigación se resalta la importancia de los métodos comparativos en relación al muestreo espectral y el muestro directo, por lo que se busca a definir el grado de eficacia de los muestreos espectrales obteniendo un nivel de significancia de hasta de 99%.

López Fandiño, (2018) en su trabajo de investigación titulado “Técnicas eficientes de detección de cambios multitemporales para imágenes hiperespectrales en GPU” tuvo como objetivo desarrollar técnicas eficientes para la detección de

cambios en conjunto de datos hiperespectrales multitemporales provenientes de la distribución de metales en ambientes acuáticos a lo largo de varios años. Utilizo el método de muestreo espectral sobre la base digital de imágenes LANDSAT 8. Mediante el análisis multitemporal de series de imágenes registrados en diferentes tiempos, llego demostrar la oscilación en la dispersión espacial de los contaminantes en el agua, mediante diferentes tonalidades, las mismas que sirvieron como indicadores del grado de densidad de contaminantes en el agua.

Aporte para la presente investigación:

Permite clasificar las variaciones espaciales según la variación del tiempo acerca de la distribución de los componentes químicos que alteran la calidad del agua.

Castillo & Rodríguez, (2017) en su trabajo de investigación titulado “Dinámica multitemporal de las coberturas y el espejo de agua en la laguna Fúquene” tuvo como objetivo analizar la dinámica de estas coberturas vegetales en el tiempo y en el espacio para ello emplearon herramientas de sensorización remota y sistemas de información geográfica. Mediante el análisis multitemporal de imágenes de satélite obtenidas en el periodo comprendido entre 1984 y 2003 determinó que el área del espejo de agua presentó una disminución del 78.7 %. Especialmente se estableció que la aparición y expansión de la vegetación acuática se ha dado desde las orillas norte y sur de la laguna. Llego a la conclusión que el análisis multitemporal es una técnica muy eficaz para el estudio de los cambios espaciales que presenta un proceso o evento ambiental a través del tiempo.

Aporte para la presente investigación:

Esta investigación hace énfasis en el análisis temporal de las imágenes obtenidas por sensores remotos para la evaluación de los cambios de los impactos ambientales en una determinada zona de interés.

Uribe Ospina, (2019) en su trabajo de investigación titulado “Estimación de la contaminación causada por la minería en cuerpos de agua del Bajo Cauca a través de imágenes satelitales” tuvo como objetivo examinar la factibilidad de utilizar imágenes satelitales Landsat 8 para el monitoreo de vertimientos de minería. Para ello se estimaron las concentraciones de tres metales pesados, cobre (Cu), zinc (Zn) y plomo (Pb), incorporando la técnica del algoritmo genético y regresión simbólica, para la estimación de tres metales pesados en el agua (Cu, Pb y Zn) en cuerpos de agua, cuyos resultados se compararon con mediciones realizadas en el sitio para analizar su validez. Los resultados indican que, aunque es necesario hacer más mediciones para ajustar los parámetros de los algoritmos empleados a las condiciones locales, estos métodos podrían ofrecer información adicional para el monitoreo de los recursos hídricos.

Aporte para la presente investigación:

Esta investigación sirvió de base para incorporar la técnica del algoritmo genético en el estudio de los metales pesados en el lago Junín, así como el muestreo directo en el mapa, para hacer el contraste.

Yang et al., (2021) en su trabajo de investigación “Estimación de las concentraciones de metales pesados en la capa superficial del suelo en el área minera de Daxigou, China, utilizando imágenes satelitales multiespectrales” . Los autores llegaron a estimar las concentraciones de Cu, Pb y As en la capa superficial del suelo. Llegaron a establecer relaciones entre los tres metales pesados y los factores ambientales del suelo, mediante el análisis de correlación con pruebas de colinealidad y la técnica del algoritmo genético. A partir del mapa de distribución espacial de las tres concentraciones de metales utilizando el método propuesto, identificaron altas concentraciones de metales pesados a lo largo del área de almacenamiento de

escoria, a los lados de la carretera utilizada para el transporte de materiales minerales, y a lo largo de la base de los taludes de la zona. Estos hallazgos son consistentes con los resultados de la encuesta sobre el terreno. La validación y los hallazgos validan la efectividad del método propuesto.

Aporte para la presente investigación:

Permitió identificar zonas de máxima de concentración de contaminantes mediante el análisis multiespectral complementado con encuestas de campo.

2.1.2. Nacionales

Alata Mollon, (2018) en su trabajo de investigación titulado “Análisis multitemporal de la explotación minera con aplicación de percepción remota y SIG en los Distritos de Ananea y Cuyocuyo-Puno, entre 1975 y 2017” tuvo como objetivo realizar análisis multitemporal con técnicas de percepción remota y Sistemas de Información Geográfica (SIG) del degradamiento del uso de suelo por la actividad minera ilegal-informal en los distritos de Ananea y Cuyocuyo entre los años 1975 y 2017. Los objetivos específicos fueron: a) Cuantificar la superficie degradada por el avance de la explotación minera informal entre 1975 - 2017 mediante procesamiento digital de imágenes satelitales. b) Evaluar el nivel de exactitud temática de los mapas a partir del empleo con campos de entrenamiento distribuido de manera aleatoria estratificada y c) Obtener imágenes del Índice de Vegetación Ajustado al Suelo Modificado (MSAVI) de los sensores Landsat 8 y Sentinel 2 en los distritos Ananea y Cuyocuyo. Para ello se emplearon imágenes satelitales multiespectrales de nueve fechas temporales de Landsat 2, 5, 7, 8 y Sentinel. Se utilizó el método de clasificación supervisada basado en información espectral de la imagen satelital, modelo de regresión lineal y operaciones a partir de los valores de reflectividad de la banda roja e infrarroja cercana. Llego a la siguiente conclusión: La superficie degradada por la

actividad minería ilegal-informal asciende a 8064.32 has que representa el 5.47% de la extensión total del territorio, con un avance de cambio promedio de 131.1 has por cada año, la obtención de mapas temáticos alcanzó niveles altamente aceptables, el coeficiente de Kappa obtenido fue de 0.91 a 0.98 y la precisión global entre 94.67% a 97.48%.

Aporte para la presente investigación:

Contribuye al análisis multitemporal, y multiespectral de los impactos de la minería ilegal sobre superficies, con altos niveles de degradación física y química.

Castrejon de la Cruz & Díaz Cubas, (2018) en su trabajo de investigación titulado “Teledetección de minerales generadores de acidez y metales pesados, usando imágenes satelitales ráster en el distrito de Bambamarca, Cajamarca 2018” tuvo como objetivo principal detectar la ubicación de minerales generadores de acidez y metales pesados mediante el análisis multiespectral de imágenes satelitales, aplicando un diseño de investigación del tipo aplicada no experimental – transversal - causal, usando un método descriptivo analítico. Llego a obtener resultados que verifican un mayor aporte de acidez en minerales como: Pirita, Calcopirita y Esfalerita, ya que son minerales más inestables, y en minerales como Ferrihidrita y thenardita, un mayor aporte de metales pesados en condiciones de acidez. Concluyendo que es posible la ubicación de zonas con presencia de residuos ácidos y residuos con metales pesados mediante el uso de técnicas de análisis multiespectral.

Aporte para la presente investigación:

Brinda importante información para el diseño de investigación relacionado con el análisis multiespectral de la emitancia de los metales pesados y sus niveles de acidez.

Quezada García, (2019) en su trabajo de investigación titulado “Uso de imágenes satelitales para determinar los parámetros de calidad del agua en los ríos amazónicos Neshuya y Aguaytia – Perú” tuvo como objetivo demostrar que el uso de

imágenes satelitales puede determinar los valores de calidad de agua de los ríos Neshuya y Aguaytia. Los parámetros evaluados fueron Demanda Bioquímica de Oxígeno (BOD), Demanda Química de Oxígeno (COD), Carbono Orgánico Total (TOC), Índice de Permanganato (CODmn) y Nitrógeno Amoniacal. El análisis de los datos mostró que BOD, COD y TOC tiene un coeficiente de correlación igual a 1; es decir tienen una correlación perfecta con la reflectancia de la imagen. Esto quiere decir que se puede determinar los parámetros de calidad de agua haciendo uso de las imágenes satelitales. No obstante, explico que esta técnica no puede sustituir los métodos tradicionales porque algunos parámetros de la calidad del agua, como metales pesados, nitrato, el fosfato y los contaminantes orgánicos no se pueden determinar por teledetección.

Aporte para la presente investigación:

Permite conocer la naturaleza química de los contaminantes filtrados en el análisis multiespectral de varios parámetros. Estableció la correlación entre los niveles de reflectancia y los parámetros BOD, COD y TOC.

Zumaeta Lozano, (2019) en su trabajo de investigación titulado “Análisis multitemporal y predictivo del cambio de uso del suelo y pérdida de cobertura vegetal en la microcuenca Yuyac, Amazonas, 2018” tuvo como objetivo realizar un análisis multitemporal y predictivo del cambio de uso del suelo y pérdida de cobertura vegetal, utilizando técnicas de teledetección mediante un análisis geoespacial, aplicadas a imágenes satelitales LandSat. El estudio se realizó en la Microcuenca Yuyac, provincia de San Isidro de Maino y Magdalena, Chachapoyas, Amazonas; donde se evaluó el Cambio de uso del suelo y la pérdida de cobertura vegetal durante el periodo de 1998 al 2018, asimismo se realizó una simulación del escenario futuro al año 2030. De tal manera, en la simulación hacia el año 2030 se registró una pérdida de 129.40 hectáreas con una concentración extremadamente alta de 0.53%. Las variables que

influyeron en el cambio de uso del suelo y pérdida de cobertura vegetal están relacionadas principalmente con las actividades de ganadería y agricultura, teniendo como resultado mayores espacios ocupados por pastos y cultivos que fueron incrementando con el paso del tiempo. Los principales resultados mostraron que los cambios de uso del suelo y pérdida de cobertura vegetal están determinados por la degradación antrópica.

Aporte para la presente investigación:

Contribuye al análisis multitemporal, mediante las series temporales, que demuestran cambios de uso de los suelos.

Subia Tito, (2020) en su trabajo de investigación titulado “Análisis multitemporal de cambio de cobertura vegetal y uso de suelos en el Parque Nacional Bahuaja Sonene y su zona de amortiguamiento”. El autor, tuvo como objetivo realizar un análisis multitemporal del cambio de cobertura vegetal y uso de suelos en el PNBS y su ZA dentro del periodo de 1984 – 2018. En su desarrollo utilizó la metodología adaptada de MAP Biomas Perú, empleando como herramienta la plataforma de Code Editor, el cual es parte de una plataforma geomática denominada google earth engine. Para el análisis se utilizó las bandas multiespectrales de las imágenes satelitales Landsat 4, 5, 7 y 8, así como los índices de NDVI, NDWI, EVI2, CAI. En sus hallazgos, muestra que dentro del periodo de 1984 – 2018 las áreas que presentaron cambios por la dinámica de cobertura vegetal son de 1.45% de su territorio total, dentro del cual, la extensión que presenta cambios por sucesión vegetal es de 0.32%. se demostró que la extensión de suelos agrícolas que se encuentra en la parte sur en el PNBS tiene una tasa de crecimiento de 13 has/año. Dentro de los resultados en la zona de amortiguamiento los suelos agrícolas presentan un crecimiento considerable a partir del año 2010, determinándose que entre el periodo de 1984 – 2019 el 2.95% de su territorio cambió de uso de suelos por la expansión de suelos agrícolas.

Aporte para la presente investigación:

Contribuye al análisis multitemporal, así como la prueba de estadística de los indicadores y dimensiones de las variables correspondientes.

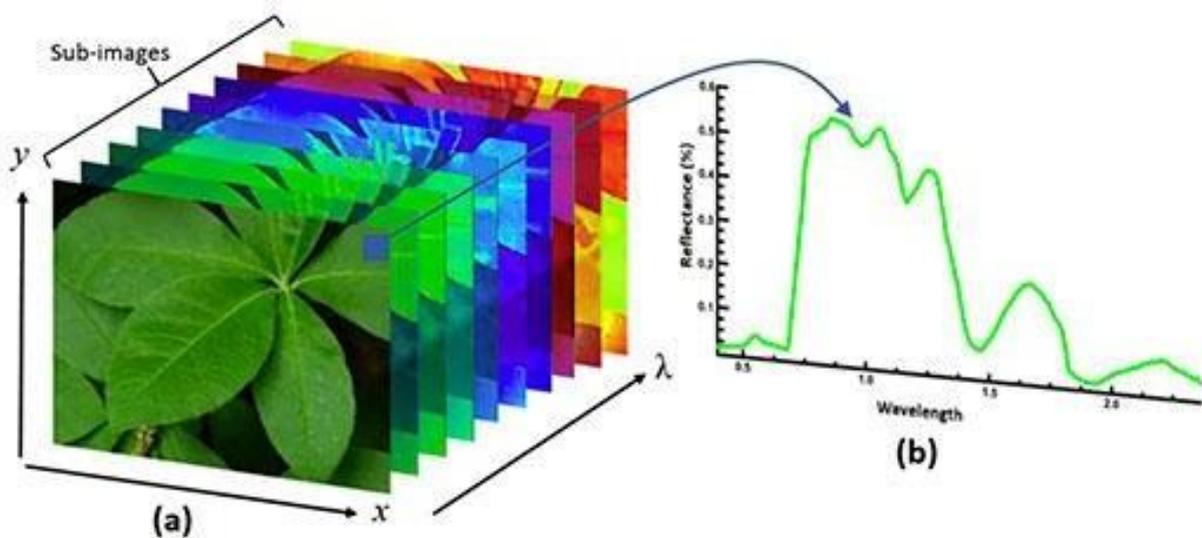
2.2. Bases teóricas

2.2.1. Análisis multiespectral

El análisis multiespectral es un procedimiento técnico que se fundamenta en la interpretación de los principios físicos y leyes de la radiación electromagnética para calcular los índices espectrales como NDVI e identificar unidades espaciales discretizadas y diferenciadas por sus niveles de emitancia y reflectancia, según su contenido físico-químico (Jiménez- López et al., 2015). Para el análisis espectral, es importante la clasificación de imágenes de satélite toda vez que permite delimitar áreas y coberturas para hacer una interpretación. Basándose en la manipulación numérica de las imágenes, se pueden interpretar y clasificar los números digitales que representa cada pixel y esta a su vez se grafican en una serie de histogramas (Figura 1). Conociendo los niveles digitales de pixeles se puede determinar los tipos y niveles de contaminantes y determinar su grado de concentración y dispersión en concordancia con la aplicación de las normas de Estándares de Calidad Ambiental ECAs y los Límites Máximos Permisibles LMP ambos establecidos en la **Ley General del Ambiente N° 28611**.

Figura 1

Imágenes multiespectrales y firmas espectrales



Nota: La firma espectral de las plantas verdes es muy singular. La clorofila de una planta en crecimiento absorbe la luz visible y especialmente la luz roja para usarla en la fotosíntesis, mientras que la luz cercana al infrarrojo es reflejada apareciendo la planta de color verde. Fuente: <https://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace>

La clave del análisis multiespectral es entender e interpretar las firmas espectrales (Tabla 1), en términos de grado de reflectancia y grado de concentración de los metales pesados, relacionados a los contrastes cromáticos que componen una imagen satelital en color natural y falso color según los niveles de reflectancia de los objetos en cada banda espectral. Es saber integrar los valores de saturación de colores generados en los canales rojo, verde y azul durante la composición de la imagen satelital en falso color. Se centra en el análisis de los histogramas y números digitales, así como en la configuración de las firmas espectrales, de las cubiertas terrestres (López et al., 2011).

Tabla 1*Indicadores y unidad de medida de firmas espectrales*

Dimensiones	Indicadores	Unidad de medida
Firmas espectrales	Grado de reflectancia de los metales pesados	% (0 - 100)
	Grado de concentración de los metales pesados	mg/L

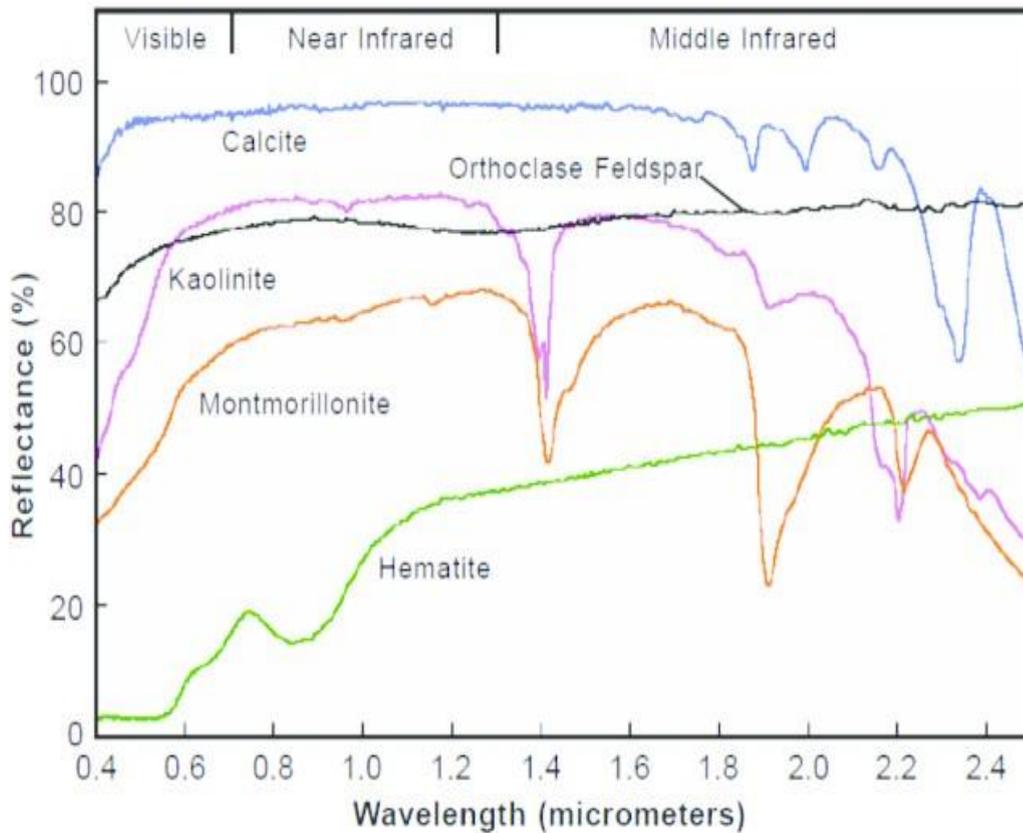
Nota: La tabla muestra los dos indicadores de las firmas espectrales, que se consideran en el análisis de la presente investigación.

2.2.2. Firmas espectrales

La signatura o firma espectral es una marca de identidad de los objetos o porciones terrestres definido por los niveles e intensidades de reflectividad (Figura 2), década tipo de longitud de onda reflejada o emitida y captada por los SR. La forma en la cual un objeto refleja, emite o absorbe la energía conforma un patrón espectral denominado FIRMA ESPECTRAL. La misma permite identificar y discriminar diferentes objetos de la naturaleza.

Figura 2

Comportamiento espectral de los cuerpos como tipología de minerales y roca



Nota: En la figura se muestra las firmas espectrales de la hematita, montmorillita, calcita y caolinita. La hematita es visible en infrarrojo lejano y la calcinita en infrarrojo cercano. Fuente: (Ormeño Villajos, 2006).

La vegetación presenta una reflexión considerablemente elevada en el canal infrarrojo cercano 4 y una baja reflexión en el canal visible rojo 3. De esta manera, las plantas evitan calentarse innecesariamente y perder agua a través de la evaporación. Por tanto, la reflexión de la vegetación en las gamas cercana al infrarrojo y visual del espectro varía considerablemente. El grado de diferencia revela cuánta área está cubierta de hojas en crecimiento.

Indicadores

Reflectancia

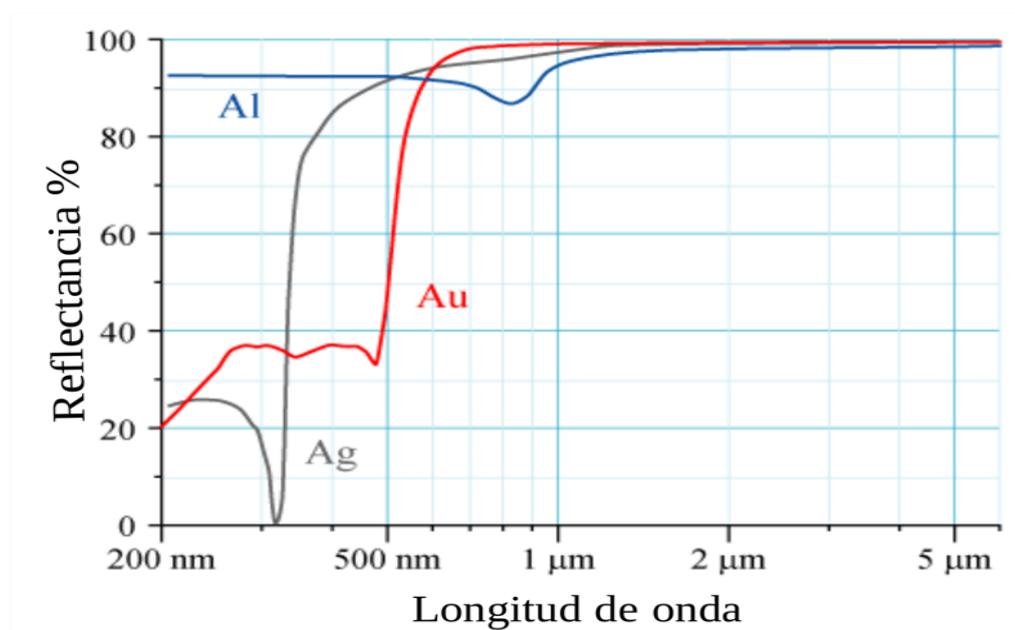
La reflexión de la superficie de un material, en este caso de la superficie del agua del lago Junín, es su efectividad para reflejar la energía radiante. Es la fracción de potencia electromagnética incidente que se refleja en una interfaz:

$$\rho = \frac{G \text{ reflejada}}{G \text{ incidente}}$$

El espectro de reflectancia o curva de reflectancia espectral es el diagrama de la reflectancia en función de la longitud de onda (Figura 3).

Figura 3

Curva de la reflectancia

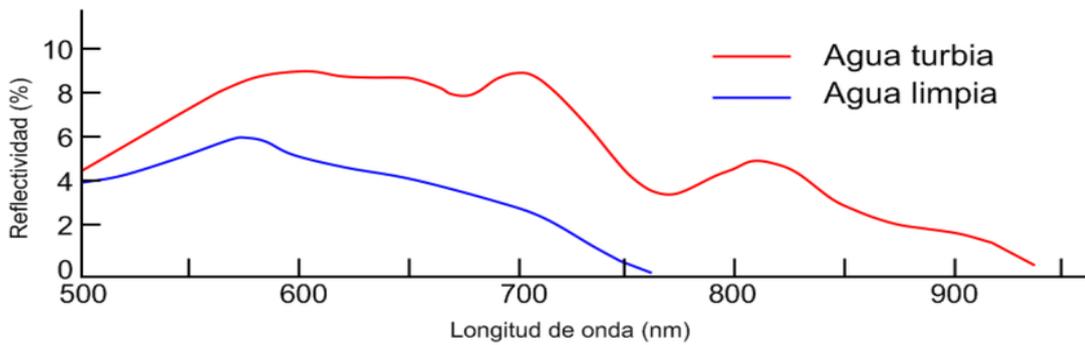


Nota: la curva de la reflectancia espectral es el gráfico de la reflectividad en función de la longitud de onda.

El grado de reflectividad en cuerpos de agua es variable tal como se muestra en la siguiente figura (Figura 4).

Figura 4

Longitud de onda



Nota: El agua turbia tiene más índice de reflectancia.

Emitancia

La emitancia o poder emisor, es la cantidad total de energía radiante de longitudes de onda emitida por un cuerpo por unidad de tiempo y unidad de superficie.

Se mide en términos de emisividad (ϵ)

Radiacion emitida por una superficie

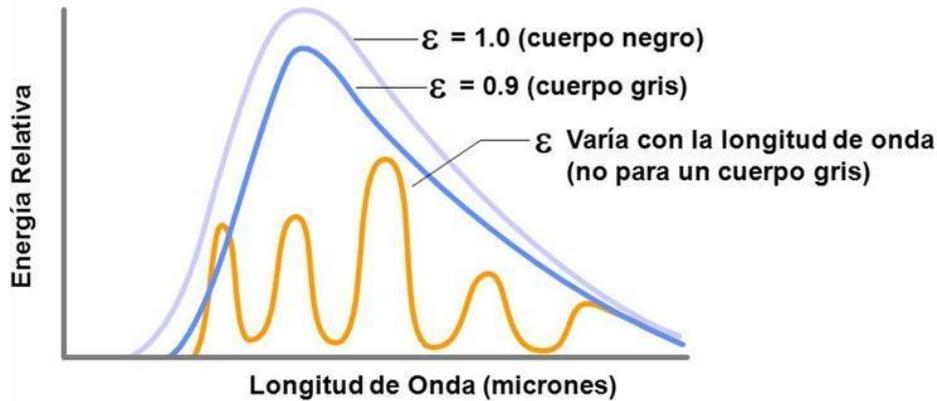
$$\epsilon = \frac{\text{Radiacion emitida por una superficie}}{\text{Radiacion emitida si fuera un cuerpo negro}}$$

Radiacion emitida si fuera un cuerpo negro

Un cuerpo negro, tiene un coeficiente $\epsilon = 1$, mientras que, para un objeto real como la masa de agua, ϵ siempre será menor a 1 (Figura 5).

Figura 5

Distribución espectral de emisividades



Nota: la emisividad es mayor en cuerpos negro debido a su alto grado de absorción, contrariamente tiene bajo índice de reflectancia.

La piel humana está cerca de ser un radiador perfecto con una emisividad de $e = 0.98$. Una superficie de cobre pulida se encuentra en el otro extremo del espectro, con un valor de $e = 0.01$.

Análisis multiespectral de los metales pesados

Los tres metales pesados Cu, Pb, y Zn que afectan las aguas del lago Junín, presentan niveles de reflectancia que oscilan entre 300 y 1000nm, los mismos que indican los niveles de su concentración por cada mg/L. Preliminarmente, se determina mediante la combinación de bandas espectrales y el cálculo de los índices NDVI, NDWI, luego es rectificado mediante la combinación del algoritmo genético, siguiendo la siguiente ecuación:

$$\text{Log (Pb)} = -5.97 (B_2)^{-0.14} - 0.43(B_5)^{3.0} + 6.69$$

$$\text{Log (Zn)} = 3.12(B_2)^{0.13} - 20.00(B_4)^{1.89} - 4.27(B_5)^{0.11} + 1.82$$

$$\text{Log (Cu)} = 9.13(B_2)^{0.80} + 97.59(B_3)^{0.71} - 9.98(B_4)^{0.52} + 9.63(B_5)^{0.29} - 3.93$$

Para validar los resultados del muestreo espectral mediante el algoritmo genético, es importante hacer el muestreo directo en campo en varios puntos de control y complementarlo adicionalmente con encuestas de campo en la escala de Likert. Este ha sido el procedimiento metodológico seguido en esta investigación.

Para conocer los Límites Máximos Permisibles, se ha considerado la Norma de Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y sus Disposiciones Complementarias contenidas en el **DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM**, según lo establecido en la **Ley General del Ambiente N° 28611**.

2.2.3. Análisis multitemporal

Para determinar los cambios y procesos como la regresión espacial, el análisis multitemporal es otra de las metodologías más importantes de la teledetección. Tiene su fundamento en una serie de imágenes temporales registradas en un intervalo de tiempo, claramente definidos. Mediante este método es posible cuantificar y caracterizar los procesos ambientales en una dimensión espacial y temporal (Alva Huayaney & Meléndez de la Cruz, 2009). Además, el análisis multitemporal permite diferenciar y caracterizar el uso de suelos, la expansión urbana, así como explicar el impacto del Cambio Climático en los procesos lacustres y glaciares, así también, es una herramienta importante para monitorear los cambios en el uso del suelo y de cobertura boscosa a través del tiempo y espacio, dando una visión objetiva en la toma de decisiones en el momento de realizar proyectos sostenibles (**Decreto supremo que aprueba el reglamento de acondicionamiento territorial y desarrollo urbano sostenible DS-022-2016-Vivienda**) (Muñoz et al., 2015)

Permite la cuantificación espacio- temporal, es una técnica cuantitativa por el cual se determina los cambios en diferentes periodos de tiempo, así como en la superficie a través de una serie de regresiones o transgresiones, de líneas de fronteras (Muñoz

Guerrero et al., 2009).

Para poder inferir el avance o retroceso de las áreas de impacto ambiental se realizan una serie de cálculos y proyecciones relacionados con la variación de la línea de tendencia, el área y la forma. Utilizando imágenes satelitales se puede delimitar el área mediante la digitalización vectorial y el cálculo de geometrías. Luego corroborar, los resultados, con el método de interpolación aritmética que presenta las siguientes variables:

$$\delta_n = \frac{S_2}{S_1}^{1/n} - 1 \quad (\text{Ecuación 1})$$

donde δ es la tasa de cambio (para expresar en % hay que multiplicar por 100).

S_1 superficie en la fecha 1.

S_2 superficie en la fecha 2.

n es el número de años entre las dos fechas.

Estudiar cambios en la distribución espacial y temporal requiere comparar datos de diferentes periodos de tiempo, lo cual pudiese representar diferencias de muestreo más que de distribución, por ello deben aplicarse técnicas que disminuyan este problema. Los análisis de distribución pueden revelar extinciones, colonizaciones y desplazamientos, los cuales son procesos complejos de identificar y cuantificar, porque requieren gran esfuerzo muestral. (Cruz Mínguez et al., 2008)

En la siguiente tabla se presenta los indicadores que definen el comportamiento de las series temporales en la distribución de los metales pesados en el lago Junín en un periodo de 5 años (Tabla 2).

Tabla 2*Indicadores y unidad de medida de series multitemporales*

Dimensiones	Indicadores	Unidad de medida
Series multitemporales	Variación espacial	m ²

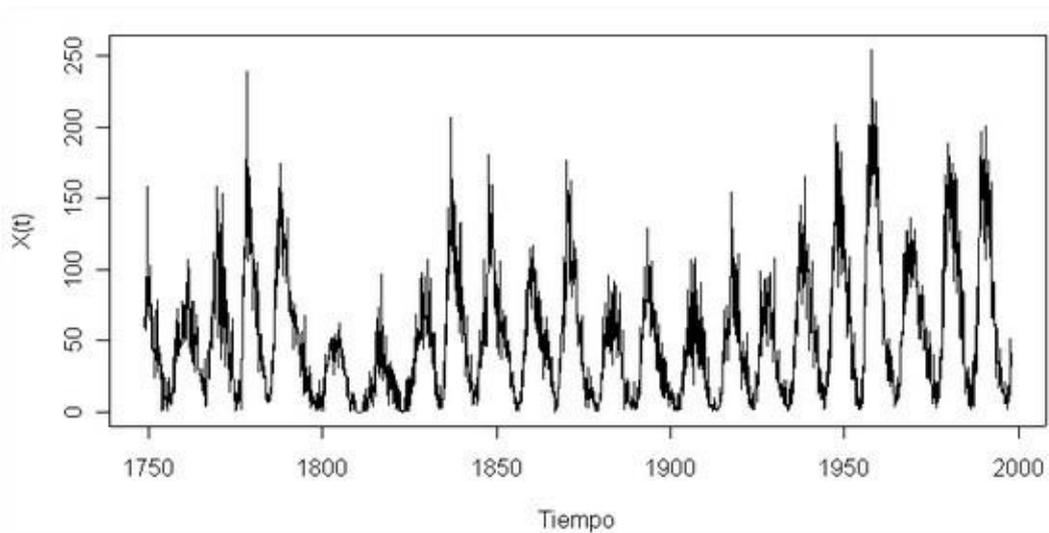
Nota: Las series temporales indican la variación espacial de los contaminantes.

Series temporales

Una serie temporal se define como una colección de observaciones de una variable recogidas secuencialmente en el tiempo. Estas observaciones se suelen recoger en instantes de tiempo equiespaciados. Tiene como objetivo la descripción y predicción de datos; es decir, es el conocimiento del comportamiento de una variable a través del tiempo para, a partir de dicho conocimiento, y bajo el supuesto de que no van a producirse cambios estructurales, poder realizar predicciones, es decir, determinar qué valor tomará la variable (Figura 6)

Figura 6

Series temporales



Nota: En la figura se observa el comportamiento cíclico de un evento en los últimos 250 años. Aquí el interés reside en la evaluación de los cambios a lo largo del tiempo.

La característica fundamental de las series temporales es que las observaciones sucesivas no son independientes entre sí, y el análisis debe llevarse a cabo teniendo en cuenta el orden temporal de las observaciones. Los métodos estadísticos basados en la independencia de las observaciones no son válidos para el análisis de series temporales porque las observaciones en un instante de tiempo dependen de los valores de la serie en el pasado.

Las componentes o fuentes de variación importantes de las series temporales son: Tendencia, efecto estacional y componente aleatoria.

Valoración multidimensional

Es definido como la capacidad de contextualizar una variable o más variables (medidas) a través del empleo de perspectivas (dimensiones): Las medidas generalmente son numéricas y las dimensiones alfanuméricas (Tabla 3). Sin embargo,

pueden presentarse excepciones a esta regla. Incluye un conjunto de procedimientos de representación espacial de las relaciones entre un conjunto de objetos a partir de las percepciones y/o preferencias de los individuos hacia dichos objetos (Abud et al., 2017).

Tabla 3

Dimensiones e indicadores de la variable: Valoración multidimensional.

Dimensiones	Indicadores	Unidad de medida
Calidad ambiental	Calidad del agua	Cantidad de concentración de metales pesados
	Calidad visual	Nominal (Escala de Likert)
Calidad paisajística	Calidad escénica	Nominal (Escala de Likert)
	Flora	Estándares UICN (DS N° 043-2006-AG)
Riqueza biológica	Fauna	Estándares UICN (DS N° 043-2006-AG)

Nota: La variable Valoración multidimensional se compone de tres dimensiones y 5 indicadores.

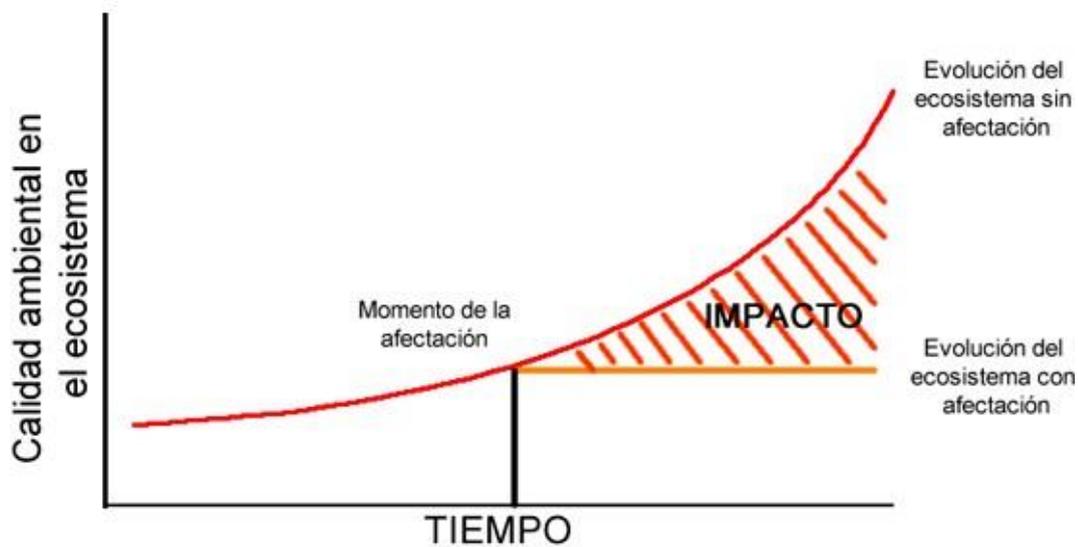
Calidad ambiental

La calidad ambiental representa las características cualitativas y/o cuantitativas intrínsecas del entorno físico, y su relación con la capacidad relativa de éste para sostener la calidad de vida del hombre y la estabilidad y evolución de los ecosistemas. Se mide a través de Estándar de Calidad Ambiental (ECA) **D.S. N° 023-2009-MINAM (Disposiciones para la implementación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua)**, esto es un instrumento de gestión ambiental que se

establece para medir el estado de la calidad del ambiente, en términos de impacto ambiental (Figura 7).

Figura 7

Impacto ambiental y calidad ambiental



Nota: El impacto es la alteración de la calidad ambiental. La curva del impacto evoluciona en el tiempo pudiendo ser exponencial al inicio y luego desaparecer.

Calidad paisajística

La calidad paisajística se define como el grado de excelencia que tiene un paisaje o su mérito para no ser alterado o destruido. Son las características intrínsecas de singularidad, estética y naturalidad.

Tiene varios componentes, para esta investigación tiene importancia la calidad visual y la calidad escénica.

La calidad visual

Es el aspecto físico multidimensional definido por la forma dominante y la distribución espacial (Figura 8).

Figura 8

Calidad visual del paisaje



Nota: La foto nos muestra uno de los paisajes escénicos más atractivos que tiene el Perú, definido por la morfología del terreno y las construcciones humanas.

La calidad visual, se determina en función del valor que representan los propios elementos que lo componen (vegetación y usos del suelo, presencia de agua, presencia de singularidades, etc.) y también en función a las respuestas que hacen las personas que lo observan **DECRETO SUPREMO N° 005-2022-MIDAGRI Decreto Supremo que aprueba el reglamento de clasificación de tierras por su capacidad de uso mayor** (Tabla 4).

Tabla 4*Tabla de valoración de elementos de calidad visual*

Elementos de calidad visual	ALTO	Valor	MEDIO	Valor	BAJO	Valor
Diversidad	Gran variedad de elementos biofísicos, características visuales	5	Diversidad media de vegetación, presencia de actuaciones humanas	3	Escasa diversidad	1
Naturalidad	Mantiene íntegramente las características naturales	5	Poca intervención humana en la naturaleza	3	Naturaleza altamente modificada	1
Singularidad	Elementos con alto grado de atracción visual, por su escasez o valor histórico	5	Escaso grado de atracción visual. No existe realce histórico	3	Presencia de elementos pasan desapercibidos	1
Complejidad topográfica	Presencia de un relieve montañoso sobresaliente	5	Formas montañosas interesante, poco dominio	3	Colinas suaves y ondulantes en el terreno poco notorias	1
Superficie y límite de agua	Presencia dominante del agua	5	Presencia de agua de una manera moderada	3	Escasa presencia de agua, casi nula	1
Actuaciones humanas	Actuaciones humanas estéticas	5	Actuaciones armoniosas sin calidad estética	3	Modificaciones intensas que reducen la calidad estética	1
	PUNTAJE TOTAL	30		18		6

Nota: El análisis de la calidad visual se sintetiza en el análisis de 6 elementos medidos bajo el baremo que genera la escala de Likert.

Calidad escénica

La calidad escénica, es el grado de contraste visual del paisaje, definido por colores, sonido, olor y contextos espaciales alternados **Ley General del Ambiente Ley N° 28611 Artículo 112.- Del paisaje como recurso natural** (Figura 9)

Figura 9

Fondo escénico del paisaje



Nota: En el análisis del fondo escénico, la forma del terreno destaca los atributos visuales de elementos que se encuentran a cortas distancias, configurando colores según la variación angular del foco de observación.

Su estudio se basa en el análisis desde una perspectiva multisensorial, considerando no sólo el paisaje visual, sino también el sonoro y el olfativo. Se valoran aspectos como la relevancia, accesibilidad, calidad de los equipamientos y viabilidad a largo plazo (Tabla 5)

Tabla 5

Tabla de valoración de elementos de calidad estética

Elementos de calidad escénica	ALTO	Valor	MEDIO	Valor	BAJO	Valor
Morfología o topografía	Relieve con pendientes mayores a 60°, marcado o predominante o relieve de gran variedad superficial o presencia de algún rasgo singular	5	Pendiente entre 30 - 60%, formas erosivas interesantes, formas y detalles interesantes, pero no dominantes o excepcionales	3	Pendiente entre 0- 30%, colinas suaves, fondos de valle planos poco o ningún detalle singular sin rasgos dominantes	1
Vegetación	Grandes masas boscosas con variedad de tipos de vegetación formas y textura, distribución interesante	5	Cubierta vegetal casi continuo, poca variedad en la distribución, diversidad de especie media	3	Cubierta vegetal continuo, poca o ninguna variedad contraste en la distribución	1
Formas de agua	Factor predominante en el paisaje, apariencia limpia y clara aguas blancas o láminas de agua en reposo, formaciones hídricas excepcionales	5	Agua en movimiento o reposo, pero no dominante en el paisaje, características comunes en su recorrido y caudal	3	Torrentes y arroyos intermitentes con poca variación en su caudal, lagunas pequeñas, regulares y sin ningún reflejo, ausentes o inapreciables	1
Color	Combinaciones colores intensas o variedades o contrastes agradables entre el suelo vegetación roca, agua y nieve	5	Alguna variedad e intensidad de colores y contrastes de suelo roca, vegetación, pero no es elemento dominante	3	Muy poca variación de colores o contrastes, colores apagados El paisaje adyacente o de fondo no ejerce influencia en la calidad el conjunto	1
Fondo escénico	El paisaje circundante potencia mucho la calidad visual	5	El paisaje circundante incrementa modernamente la calidad visual	3		1
Rareza	Uno o poco corriente o muy raro en la región	5	Característico, aunque similar a otros en la región	3	Bastante común en la región	1
Actuaciones humanas	Libre de actuaciones estéticamente no deseadas o modificaciones que mejoran la calidad visual	5	Calidad escénica modificada por modificaciones poco armoniosas, aunque parcialmente o no añaden calidad visual	3	Modificaciones intensas o extensas que reducen o anulan la calidad escénica	1
PUNTAJE TOTAL		35		21		7

Nota: Para la valoración del fondo escénico se toma en cuenta 7 elementos, con baremos y la escala de Likert. Fuente: <http://www.catpaisatge.net/monlocal/esp/eines>

El método de análisis de la calidad paisajística consiste en el diseño y la combinación de indicadores de tipo escénico, funcional e interpretativo para evaluar la calidad del paisaje; y en el reconocimiento, mediante entrevistas y encuestas, de la percepción que la comunidad local hace al respecto. La escala de Likert es el instrumento óptimo para esta evaluación (Figura 10).

Figura 10

Escala de valoración Likert

VALORES DE LA ESCALA DE LIKERT				
TOTALMENTE DE ACUERDO	DE ACUERDO	INDIFERENTE O NEUTRO	EN DESACUERDO	TOTALMENTE EN DESACUERDO
①	②	③	④	⑤

Nota: La escala de Likert presenta baremos cuya valoración corresponde a un puntaje determinado.

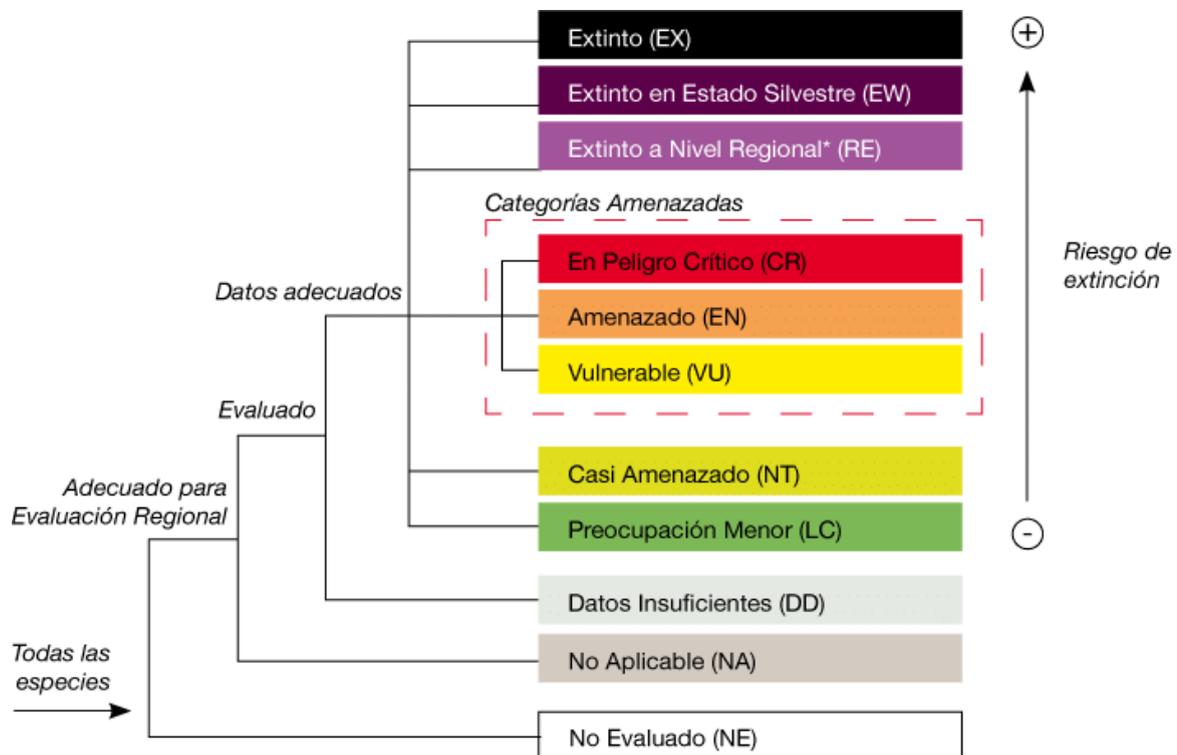
Riqueza biológica

Tiene con el número de especies de flora y fauna diferentes presentes en un determinado espacio, que puede ser un ecosistema, biotopo o superficie delimitada y en un determinado período de tiempo.

En esta investigación se valora el impacto que sufre debido a las concentraciones de los metales pesados en el cuerpo de agua y la zona litoral del lago Junín. Esta valoración se sustentante en la escala de valoración de Likert, que toma en cuenta los parámetros de estatus que establece la Unión Internacional para la **Conservación de la Naturaleza** y el **DS N° 043-2006-AG** (Figura 11).

Figura 11

Niveles de situación de las especies



Nota: La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, establece una lista roja para la categorización de las especies silvestres.

2.2.4. Marco Legal Ambiental Aplicable

Ley general del ambiente ley Nª 28611

Toda persona tiene el derecho irrenunciable a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, y el deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, así como sus componentes, asegurando particularmente la salud de las personas en forma individual y colectiva, la conservación de la diversidad biológica, el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y el desarrollo sostenible del país. **(Artículo I.- Del derecho y deber fundamental)**

La ley promueve el uso de las tecnologías para la conservación de la diversidad biológica y prevención en casos de emergencia según el **Artículo 97 inciso j**, el cual establece lo siguiente: “La promoción del uso de tecnologías y un mayor conocimiento de los ciclos y procesos, a fin de implementar sistemas de alerta y prevención en caso de emergencia”.

La presente ley Facilita y estimula el acceso a la información y al conocimiento, articulando adecuadamente conocimientos y tecnologías tradicionales con conocimientos y tecnologías modernas (teledetección y uso de imágenes Landsat y Sentinel) **Artículo 100 inciso e**

Política nacional del ambiente

El principal objetivo de la Política Nacional del Ambiente es mejorar la calidad de vida de las personas, garantizando la existencia de ecosistemas saludables, viables y funcionales en el largo plazo; y el desarrollo sostenible del país, mediante la prevención, protección y recuperación del ambiente y sus componentes, la conservación y el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales, de una manera responsable y congruente con el respeto de los derechos fundamentales de la persona. Hace mucho énfasis en la aplicación de tecnologías para promover la investigación de los ecosistemas marinos con tecnologías adecuadas.

La presente investigación contribuye al desarrollo de los Eje 1 y Eje 2 de la Política Nacional del Ambiente. El primero está orientado a la conservación y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y de la diversidad biológica. El segundo se enfoca en la gestión integral de la calidad ambiental.

Además, se promueve la investigación de los ecosistemas marinos con tecnología adecuada.

Decreto supremo que aprueba el reglamento de acondicionamiento territorial y desarrollo urbano sostenible DS-022-2016-Vivienda

El Reglamento de Acondicionamiento Territorial y Desarrollo Urbano vigente, aprobado mediante Decreto Supremo N° 004-2011-VIVIENDA, establece el marco normativo para los procedimientos técnicos que deben seguir las municipalidades a nivel nacional, en el ejercicio de sus competencias en materia de planeamiento y gestión del suelo, acondicionamiento territorial y desarrollo urbano y rural.

Conforme a lo expuesto, para lograr el objetivo de ciudades sostenibles, competitivas y de una planificación estratégica, a través de la ocupación y uso racional del suelo urbano, se propone en el proyecto del Reglamento la base de la planificación urbana sostenible, con la finalidad de fortalecer la integración espacial, socio - económica y administrativa del territorio nacional.

Aprueban el Reglamento de Zonificación Ecológica y Económica (ZEE)- DECRETO SUPREMO N° 087-2004-PCM

La Zonificación Ecológica y Económica-ZEE, es un proceso dinámico y flexible para la identificación de diferentes alternativas de uso sostenible de un territorio determinado, basado en la evaluación de sus potencialidades y limitaciones con criterios físicos, biológicos, sociales, económicos y culturales. Una vez aprobada la ZEE se convierte en un instrumento técnico y orientador del uso sostenible de un territorio y de sus recursos naturales.

La finalidad de la Zonificación Ecológica y Económica-ZEE es orientar la toma de decisiones sobre los mejores usos del territorio, considerando las necesidades de la población que la habita y en armonía con el ambiente.

Son objetivos de la Zonificación Ecológica y Económica-ZEE:

- a) Conciliar los intereses nacionales de la conservación del patrimonio natural con el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales;
- b) Orientar la formulación, aprobación y aplicación de políticas nacionales, sectoriales, regionales y locales sobre el uso sostenible de los recursos naturales y del territorio, así como la gestión ambiental en concordancia con las características y potencialidades de los ecosistemas, la conservación del ambiente, y el bienestar de la población.
- c) Proveer el sustento técnico para la formulación de los planes de desarrollo y de ordenamiento territorial, en el ámbito nacional, regional y local.
- d) Apoyar el fortalecimiento de capacidades de las autoridades correspondientes para conducir la gestión de los espacios y los recursos naturales de su jurisdicción.
- e) Proveer información técnica y el marco referencial para promover y orientar la inversión pública y privada.
- f) Contribuir a los procesos de concertación entre los diferentes actores sociales sobre la ocupación y uso adecuado del territorio.

Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM

Aprobación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua Apruébase los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, que como Anexo forman parte integrante del presente Decreto Supremo. Artículo 2

Categorías de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua Para la aplicación de los ECA para Agua se debe considerar las siguientes precisiones sobre sus categorías. Artículo 3

Conservación del ambiente acuático Entiéndase como aquellos cuerpos

naturales de agua superficiales que forman parte de ecosistemas frágiles, áreas naturales protegidas y/o zonas de amortiguamiento, cuyas características requieren ser protegidas. Categoría 4

Lagunas y lagos Entiéndase como aquellos cuerpos naturales de agua lénticos, que no presentan corriente continua, incluyendo humedales. a) Subcategoría E1 (Ver Anexo N^a 8)

Establecen Santuario Patriótico Nacional de Chacamarca en la provincia de Junín DECRETO SUPREMO N° 0750-74-AG

La Reserva Nacional de Junín se sitúa en la Pampa de Junín (también conocida como altiplano de Bombón), en las inmediaciones del lugar de la histórica batalla de Junín a 4,100m.s.n.m.

La mayor parte de su superficie está ocupada por el lago Junín (Chinchaycocha o de los Reyes) y en su área de influencia por pequeñas lagunas como Lulicocha, Chacacancha, Tauli, Cusicocha, Ahuascocha y Rusquicocha. El lago Junín es el segundo lago más extenso del Perú y uno de los principales tributarios de la cuenca del Amazonas.

Adicionalmente, el lago Junín es reconocido por la Convención Ramsar desde 1997 como un humedal de importancia internacional, especialmente por ser un importante hábitat de aves acuáticas.

2.3. Marco Conceptual

2.3.1. Ecosistema acuático

Los ecosistemas acuáticos se definen como espacios donde animales y plantas se relacionan dentro del agua (Castillo Haeger, 2014). Estos sistemas tan particulares suelen clasificarse en dos diferentes tipos: los hábitats de agua dulce y los hábitats de

agua salada. Dentro de un ecosistema es completamente necesario que existan componentes bióticos o biológicos, los cuales a su vez deben disponer de las características necesarias para contribuir al mismo, como es el caso de ser productores de elementos, consumidores y a su vez tener la capacidad de descomponer, para de esa manera conseguir mantener un equilibrio y a su vez lograr una evolución constante del ecosistema (Figura 12).

Figura 12

El lago Chinchaycocha, el segundo lago más extenso del Perú



Nota: El lago Junín presenta uno de los paisajes escénicos más singulares del Perú.

Fuente: <https://andina.pe/agencia/noticia-reserva-nacional-junin-celebra-46-anos-conservando-ecosistema-del-lago-chinchaycocha-808986.aspx>

El componente acuático simplemente se añade a las especies de plantas y animales que acostumbran a pasar la mayor parte de sus vidas naturales bajo el agua (Uribe Botero, 2015). Los ecosistemas acuáticos son sumamente susceptibles a los cambios de clima, puesto que impactan a toda la comunidad y generan gran cantidad de cambios, como el hecho de que muchas especies se trasladan hacia zonas mucho más confortables (Ramírez, 2017).

2.3.2. Ecosistema lacustre

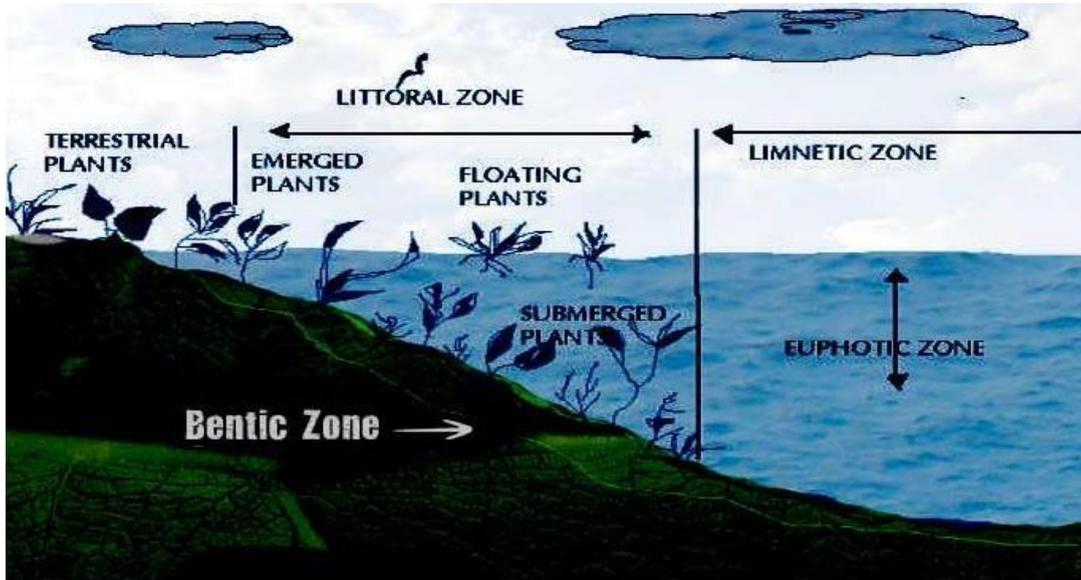
Un lago, es un ecosistema lacustre, altamente vulnerable a los impactos ambientales ocasionados por las actividades humanas.

Los lagos son sistemas ecológicos que existen como singularidades espaciales sobre la superficie terrestre. Se encuentra formando sistemas de drenaje o áreas de ecúmene de gran dinámica económica y social. Desde el punto de vista de la ecología, por ejemplo, el lago Junín presenta las siguientes zonas (Figura 13):

- Zona de influencia: áreas agrícolas, con cultivos de papa y maca (*Lepidium meyenii*), un rabanito altoandino muy cotizado como reconstituyente y afrodisíaco, y con pasturas andinas; áreas secas con pendiente, formadas por laderas empinadas y requerías; y áreas húmedas con pendiente, donde brotan manantiales.
- Zona supralitoral: área semiseca, en orillas extensas; área húmeda y muy húmeda, donde llega la humedad del lago; área muy húmeda inundable, donde llega el agua cuando sube el nivel; y área fangosa, con barro permanente.
- Zona litoral: área inundada con o sin plantas flotantes y totorales muy extensos, y que pueden estar en aguas superficiales y en aguas profundas.
- Zona sublitoral: permanentemente sumergida.
- Zona pelágica: de las aguas libres.
- Zona bentónica. Que corresponde a las profundidades del agua que es el lecho del lago.

Figura 13

Zonas ecológicas de ecosistemas de agua dulce



Nota: Los lagos al igual que los mares presentan zonas bentónicas y zonas pelágicas, así como la zonación litoral. Fuente:

<https://untamedscience.com/biology/biomes/lakes-ponds-biome/lake-zones-2/>

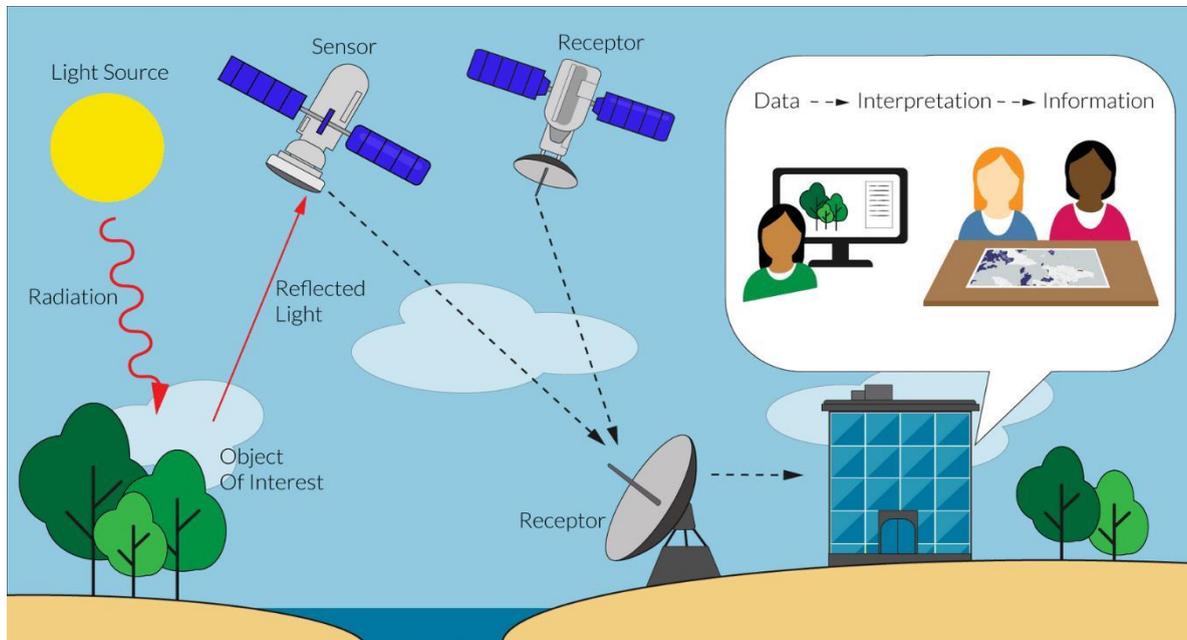
2.3.3. Teledetección Espacial

La teledetección es la técnica de adquisición de datos de la superficie terrestre desde sensores instalados en plataformas espaciales. La interacción electromagnética entre el terreno y el sensor genera una serie de datos que son procesados posteriormente para obtener información interpretable de la Tierra. (Instituto Geográfico Nacional, 2017).

Un sistema de teledetección consiste en instrumentación, procesamiento y análisis diseñados para medir, monitorear y predecir los aspectos físicos, químicos y biológicos del sistema terrestre (Figura 14).

Figura 14

Proceso de la teledetección espacial



Nota: En la imagen se aprecia los componentes que definen el funcionamiento de la teledetección espacial.

Se han desarrollado nuevas tecnologías sofisticadas para recopilar grandes cantidades de datos, y la sofisticación matemática y física de las técnicas utilizadas para procesar y analizar los datos observados han aumentado considerablemente (Shunlin et al., 2012).

El sistema de adquisición de datos consiste principalmente en el sensor y la plataforma en la que reside el sensor. La plataforma puede estar en la superficie, en el aire o en el espacio. Una plataforma de superficie tal vez una escalera, torre, recolector de cerezas, grúa, alto edificio o andamiaje que proporciona datos utilizados principalmente para la validación (Shunlin et al., 2012).

2.3.4. Sensores remotos

Los sensores remotos son sistemas o instrumentos para captar información de un objeto a distancia (remote sensor). Permite la adquisición de datos de la superficie a distancia variable y al procesamiento e interpretación de esos datos.

Tipos de sensores

Hay dos tipos de sensores: pasivo y activo. Los sensores pasivos detectan la radiación natural emitida por el objeto que está siendo visto o reflejado por el objeto de una fuente distinta al instrumento. La luz solar reflejada es la fuente externa más común de sensores de derivación detectados por radiación. Los sensores pasivos típicos incluyen (Khorram et al., 2016).

- Radiómetros: Instrumento que mide cuantitativamente el resplandor de la radiación electromagnética en la región espectral visible, infrarroja o de microondas.
- Radiómetro de imágenes: Es un radiómetro que incluye una capacidad de escaneo para proporcionar una matriz bidimensional de píxeles a partir de los cuales se puede producir una imagen. A menudo se le llama escáner. El escaneo se puede realizar de forma mecánica o electrónica mediante el uso de una serie de detectores.
- Espectrorradiómetro: Un radiómetro que puede medir la radiación en múltiples bandas espectrales, como el espectrorradiómetro de imágenes de resolución moderada (MODIS) y el espectrorradiómetro de imágenes de ángulos múltiples (MISR).

Los sensores activos proporcionan su propia radiación electromagnética para iluminarla escena que observan. Envían un pulso de energía desde el sensor a la escena y luego reciben la radiación que se refleja o se dispersa desde esa escena.

Los sensores activos típicos incluyen:

- Radar (radiodetección y alcance): un radar de microondas que utiliza un transmisor que funciona a frecuencias de microondas para emitir radiación electromagnética y una antena o receptor direccional para medir el tiempo de llegada de los pulsos de radiación reflejados o retro dispersados de objetos distantes para determinar la distancia a el objeto.
- Radar de apertura sintética (SAR): Un sistema de imágenes de radar de mirada lateral que utiliza el movimiento relativo entre una antena y la superficie de la Tierra para sintetizar una antena muy larga mediante la combinación de señales (ecos) recibidas por el radar mientras se mueve a lo largo de su trayectoria de vuelo para obteniendo imágenes de alta resolución espacial. Así también se tiene a Radar interferométrico de apertura sintética (InSAR), al dispersómetro, al Lidar (detección de luz y rango) y al altímetro láser.

2.3.5. Radiaciones electromagnéticas

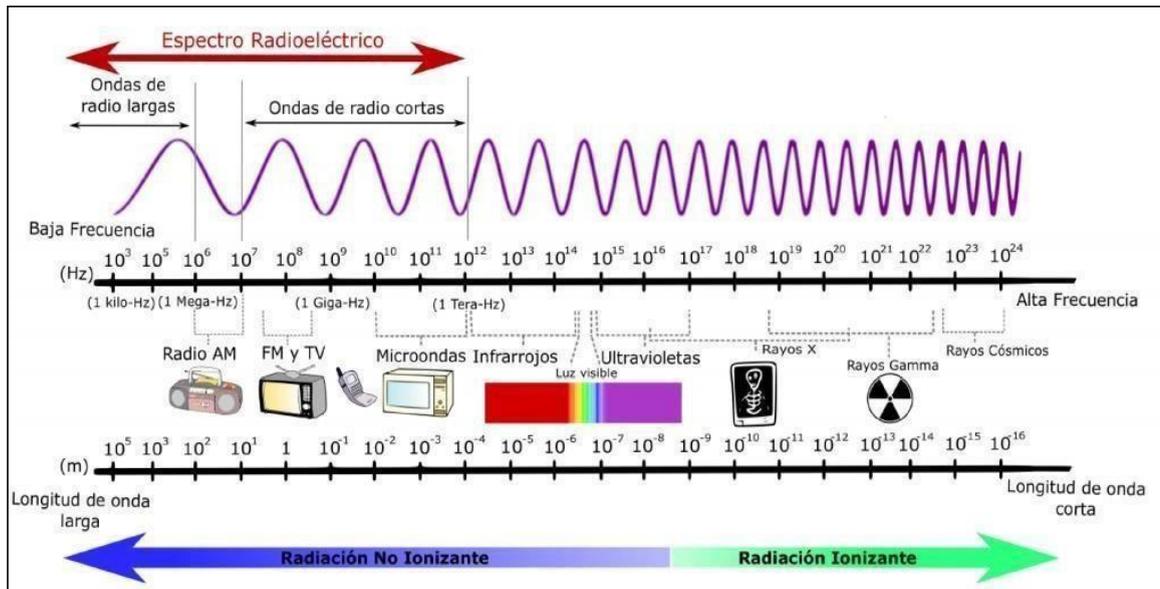
Una de las descripciones de la radiación electromagnética es que corresponde a ondas electromagnéticas que constan de campos eléctricos y magnéticos oscilantes, que son mutuamente perpendiculares entre sí y perpendiculares a la dirección de propagación de la onda. El espectro electromagnético, es el flujo saliente de energía de una fuente en forma de ondas electromagnéticas que se denomina radiación electromagnética. El espectro electromagnético es el conjunto de todas las frecuencias (número de ciclos de la onda por unidad de tiempo) posibles a las que se produce radiación electromagnética (Fontal, 2005).

El espectro electromagnético se extiende desde las bajas frecuencias usadas para la radio moderna (extremo de la onda larga) hasta los rayos gamma (extremo de la onda corta), que cubren longitudes de onda de entre miles de kilómetros y la fracción

del tamaño de un átomo (Figura 15).

Figura 15

El espectro electromagnético



Nota: El espectro electromagnético, muestra una serie de ondas electromagnéticas definidos por el tamaño de sus ondas y la cantidad de energía que transportan las ondas. Fuente (CAB, 2018)

La naturaleza y comportamiento de las radiaciones electromagnéticas se fundamenta en las siguientes leyes:

Ley de Max Planck

Según esta ley, la energía radiada en una longitud de onda λ desde un cuerpo negro es función de su temperatura T, que se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$I(\lambda, T) = \frac{2\pi C^{-1} h^3}{\lambda^5} \left(\frac{1}{e^{\lambda k T} - 1} \right)$$

Donde:

K: Constante de Boltzmann, $k = 1.3806503 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$

h: Constante de Planck, $h = 6.626 \cdot 10^{-35} \text{ J}\cdot\text{s}$

c: Velocidad de la luz, $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

T: T es la temperatura absoluta en

Kelvin λ : Longitud de onda de la energía

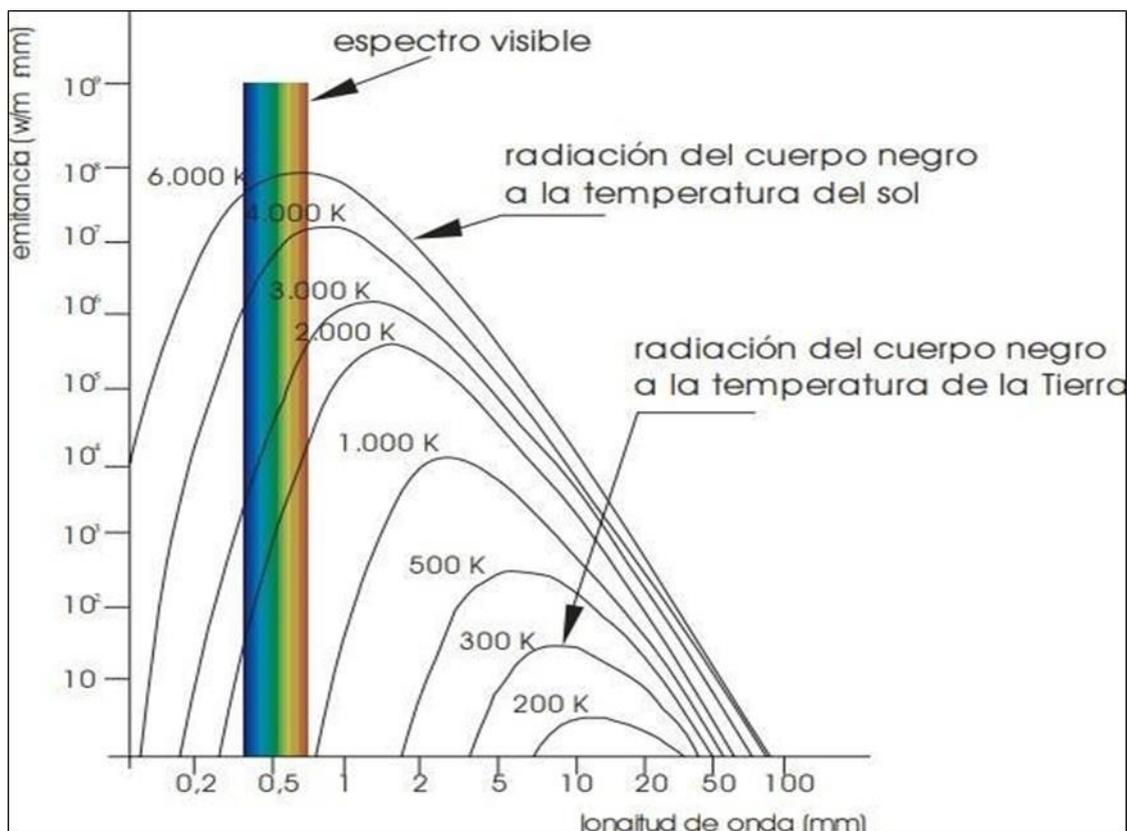
emitida.

I: Intensidad de energía o emitancia espectral del cuerpo negro

Esta expresión explica todas las características de la radiación de un cuerpo negro, y sus niveles de frecuencias denominadas curvas espectrales (Figura 16).

Figura 16

Curvas espectrales según la temperatura



Nota: La variación de la temperatura define el tamaño de las ondas, así como el tipo de energía que se transmite. Curvas espectrales según la temperatura. Fuente (CAB, 2018)

Lo radical en la hipótesis de Planck es que la energía de un oscilador está cuantizada y que la energía sólo puede poseer valores discretos y no un valor intermedio. Es decir, si la energía está cuantizada, la amplitud sólo podría tener valores discretos. Esto es debido a que los valores cuantizados son muy próximos unos a otros debido al valor tan pequeño de la constante de Planck (EHU, 2016).

Ley de desplazamiento de Wien

La ley del desplazamiento de Wien afirma que el máximo de la intensidad de la radiación térmica emitida por un cuerpo negro ideal, se desplaza con el aumento de la temperatura hacia la región de longitudes de onda más corta.

Mediante la ecuación de Wien se puede calcular la longitud de onda que se produce la máxima emitancia de un cuerpo negro conociendo su temperatura (T) en Kelvin, según la siguiente ecuación (Olvo, 2018)

$$h_{\text{Max}} = 2898 \text{ umK/T}$$

Donde:

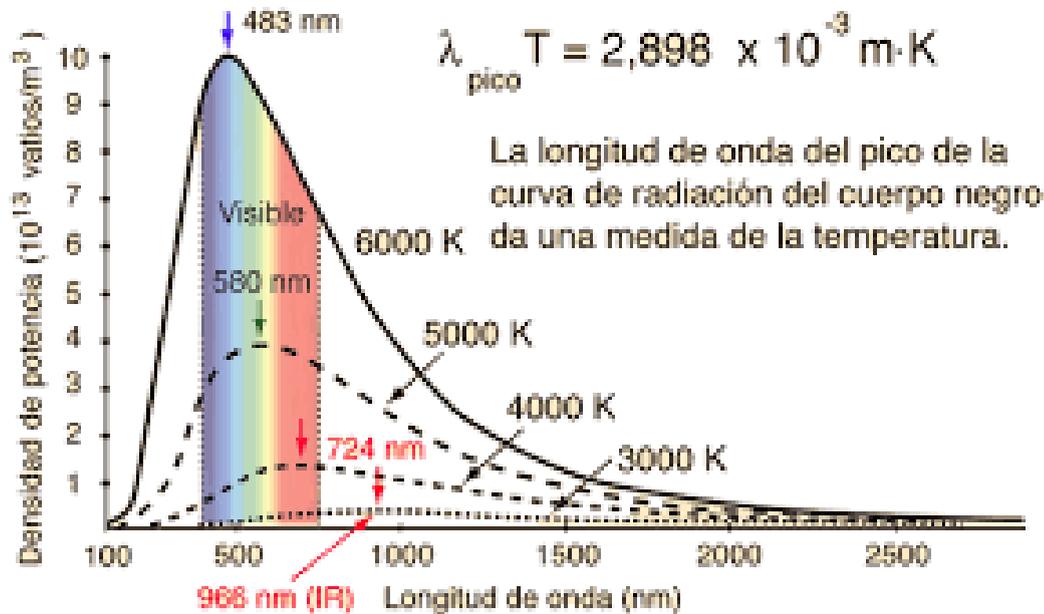
h_{Max} : **Longitud de onda del pico de emisión en metros (m).**

T: Temperatura del cuerpo negro en Kelvin (K)

Tiene gran importancia para seleccionar la banda más apropiada para detectar un determinado fenómeno conociendo su temperatura. En la siguiente figura se muestra el desplazamiento de las ondas electromagnéticas según la temperatura del cuerpo (Figura 17)

Figura 17

Ley desplazamiento de la onda según la temperatura



Nota: El pico de la curva coincide con temperaturas máximas superior a 6000K.

Conforme baja la temperatura aumenta el tamaño de las ondas.

Ley de Stefan- Boltzmann

Permite hallar el total de emitancia espectral de un cuerpo negro para todas las longitudes de onda, mediante la siguiente ecuación:

$$P = \delta a e T^4$$

Donde:

a: es el área de la emitancia espectral.

e: es el grado de emisividad del cuerpo.

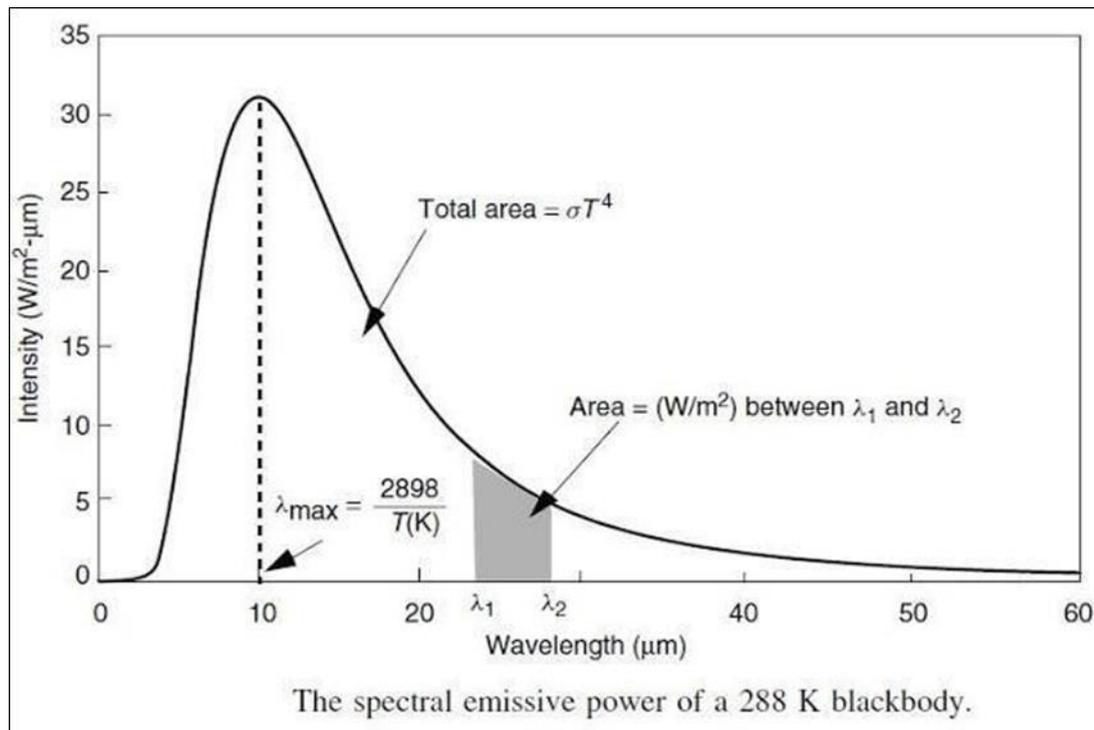
T: Temperatura absoluta del cuerpo negro

P: Potencia de emisividad espectral.

La energía radiada por un radiador de cuerpo negro por segundo, por unidad de superficie, es proporcional a la cuarta potencia de la temperatura absoluta (Figura 18).

Figura 18

Energía de cuerpo proporcional a su temperatura absoluta



Nota: La emitancia de los cuerpos se puede evaluar en función a la cuarta potencia de su temperatura.

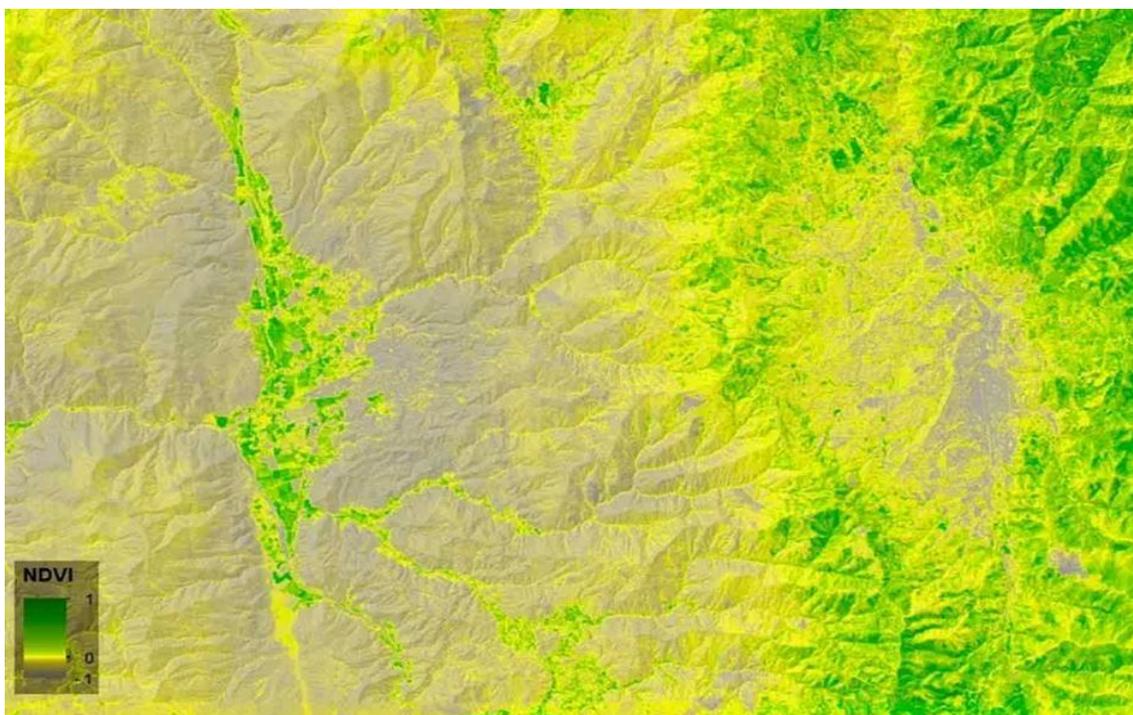
2.3.6. Imágenes satelitales

Las imágenes satelitales son FORMATOS DIGITALES que registran la energía electromagnética de manera electrónica. Estas imágenes están conformadas por cuadrículas del mismo tamaño, llamados píxeles, y que representan la brillantez de cada parte del terreno mediante un valor numérico o número digital (que representa la variación en el voltaje de la radiación que capta el sensor). Estas imágenes presentan características muy variadas y como tal tiene múltiples aplicaciones. Varían en

colores, resolución, formatos, temática y elevación. Hay una clasificación diversificada de imágenes satelitales, según su resolución espectral, radiométrica, espacial y temporal. Las más notables para evaluación ambiental son la generación Landsat, Aster y Sentinel 2 (Martínez García, 2017). La siguiente figura muestra el aspecto visible de una imagen satelital (Figura 19).

Figura 19

Niveles de NDVI en una imagen satelital.

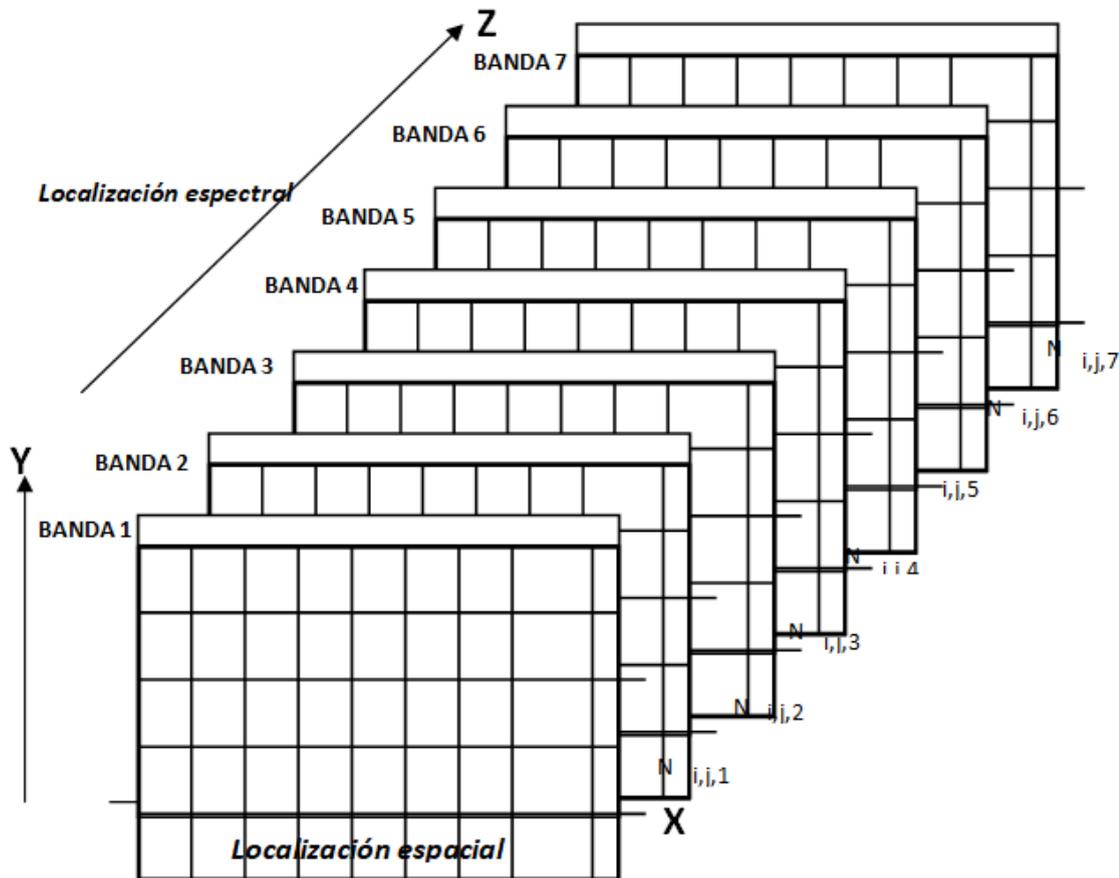


Nota: El valor del NDVI va desde -1 hasta 1 y nos muestra el vigor del cultivo: Valores cercanos a 1: cuanto más intenso es el verde, más vigorosidad existe en la vegetación y la cubierta vegetal.:. Fuente: <https://acolita.com/tag/landsat-8/>

Las imágenes satelitales son imágenes multiespectrales que tienen 2 componentes importantes: la localización espacial y la localización espectral (Figura 20).

Figura 20

Dimensión espacial y espectral de una imagen satelital



Nota: Las dos dimensiones de las imágenes satelitales son: localización espacial y la localización espectral. La primera define la georreferenciación geométrica y la segunda la corrección radiométrica. Fuente: <https://ingeoexpert.com/articulo/21969/>

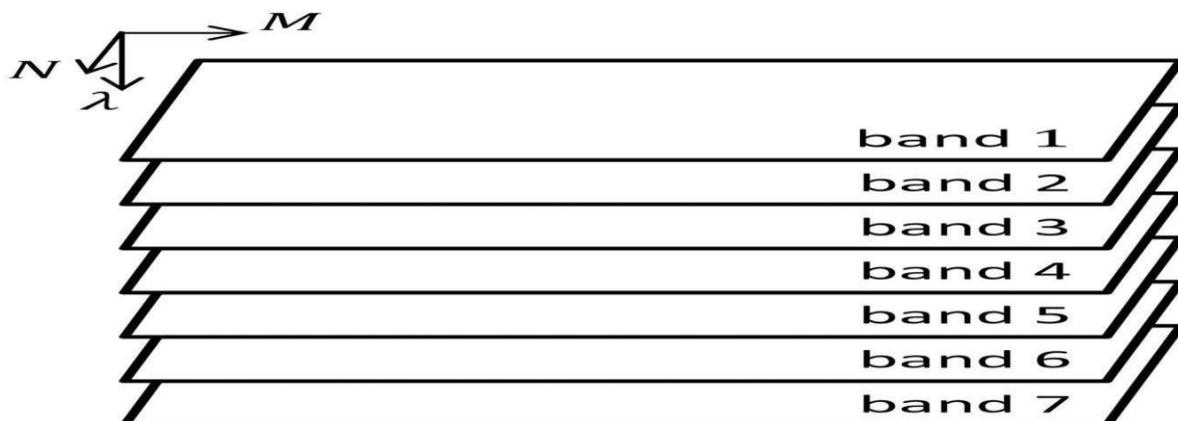
La resolución espacial se refiere a la finura de detalles visibles en una imagen: cuanto menor es el área terrestre representada por cada píxel en una imagen digital mayores son los detalles que pueden ser captados y mayor es la resolución espacial.

LANDSAT-5, tiene 30m y QUICKBIRD, 0.60m.

La resolución espectral se refiere al número y ancho de las bandas espectrales registradas por un sensor. Cuanto más estrechas sean estas bandas mayores será la resolución espectral de una imagen satelital. El LANDSAT y el SENTINEL 2 son sistemas multispectrales, que se caracterizan por un número no muy elevado de bandas espectrales. La resolución o sensibilidad radiométrica hace referencia al número de niveles digitales utilizados para expresar los datos recogidos por el sensor. En general, cuanto mayor es el número de niveles digitales o niveles de color gris de una imagen satelital, mayor es el detalle con que se podrá expresar dicha información. Las imágenes de satélite multispectrales se generan mediante la recopilación de varias bandas que representan la misma área de la superficie terrestre en diferentes intervalos de muestreo espectral, y los datos producidos se pueden ver como un cubo, (Hagag et al., 2017) como se muestra en la figura 21.

Figura 21

Estructura 3D de la imagen multispectral de Landsat 7



Nota: Landsat 7 posee una capacidad de almacenamiento de 378 gigabytes, equivalente alrededor a 100 imágenes. Fuente: Hagag, et al. (2017).

Las imágenes satelitales, se analizan en función a cuatro siguientes tipos de resoluciones: espacial, espectral, radiométrica y temporal (Tabla 6).

Tabla 6*Niveles de resolución de sensores comunes*

Sensor del satélite	Bandas espectrales	Resolución espacial (m)	Resolución radiométrica (bits)	Resolución temporal (días)	Cobertura temporal
Resolución Media (100-1000m)	MODIS	B1-B2	6*7	4	1999
		B3-B7	250	12	
		B8-b36	1000		
Resolución fina (5-100m)	AVHRR	B1-B5	1000 en nadir	10	1999
	ALI/EO1	B1	15	8	
		B2-B9	30		
	ASTER/Terra	B11-B14	90	12	
		Pan	15	8	
	ETM+/Landsat7	B1-B5,B7	30		
		B6	60		
Resolución muy alta (<5m)	Ikonos	Banda Pancromática	2.5 o 5	8	1999

Nota: Existen varias plataformas que ofrecen servicios de imágenes de satélite según sus grados de resolución espacial o espectral. Fuente: (Shunlin et al., 2012)

Resolución espacial

La resolución espacial es una función de la altitud del sensor, el tamaño del detector, el tamaño focal y la configuración del sistema (Jensen, 2005). Define el nivel de detalle espacial representado en una imagen y, a menudo, está relacionado con el tamaño de la característica más pequeña posible que se puede detectar en una imagen. Esta definición implica que sólo los objetos más grandes que la resolución espacial de un sensor pueden seleccionarse de una imagen. Sin embargo, una característica más pequeña a veces puede ser detectable si su reflectancia domina dentro de una celda de resolución particular o si tiene una forma única (por ejemplo,

características lineales). Otro significado de resolución espacial es que una característica del suelo debe poder distinguirse como una entidad separada en la imagen. Pero la separación de los vecinos o el fondo no siempre es suficiente para identificar el objeto (Weng, 2020).

Resolución espectral

La resolución espectral describe el número y el ancho de las bandas espectrales en un sistema de sensores. Muchos sistemas de sensores tienen una banda pancromática, que es una única banda ancha en el espectro visible, y bandas multiespectrales en el espectro visible-infrarrojo cercano o infrarrojo térmico (ver Tabla 1.4). Los sistemas hiperespectrales suelen tener cientos de bandas espectrales estrechas; por ejemplo, Hyperion en el satélite EO-1 tiene 220 bandas a una resolución espacial de 30 m (Shunlin et al., 2012).

Resolución temporal

La resolución temporal es una medida del ciclo repetido o la frecuencia con la que un sensor vuelve a visitar la misma parte de la superficie de la Tierra. Las características de frecuencia están determinadas por el diseño del sensor de satélite y su patrón de órbita (Shunlin et al., 2012). La resolución temporal, o tiempo de revisión, generalmente se expresa en términos de días. Por ejemplo, Landsat-8 tiene un ciclo de órbita de 16 días, lo que significa que el satélite, y por lo tanto el sensor OLI y el sensor infrarrojo térmico (TIRS), regresa a una ubicación determinada en la superficie de la Tierra cada 16 días. Sin embargo, algunos satélites, como el GOES, tienen un ciclo de revisión de menos de una hora en determinadas ubicaciones (Khorram et al., 2016).

Resolución radiométrica

La resolución radiométrica se refiere al rango dinámico, o la cantidad de números de salida diferentes en cada banda de datos, y está determinada por la cantidad de bits en los que se divide la radiación registrada. En datos de 8 bits, los números digitales (DN) pueden oscilar entre 0 y 255 por cada píxel. Obviamente, más bits dan como resultado una mayor precisión radiométrica del sensor.

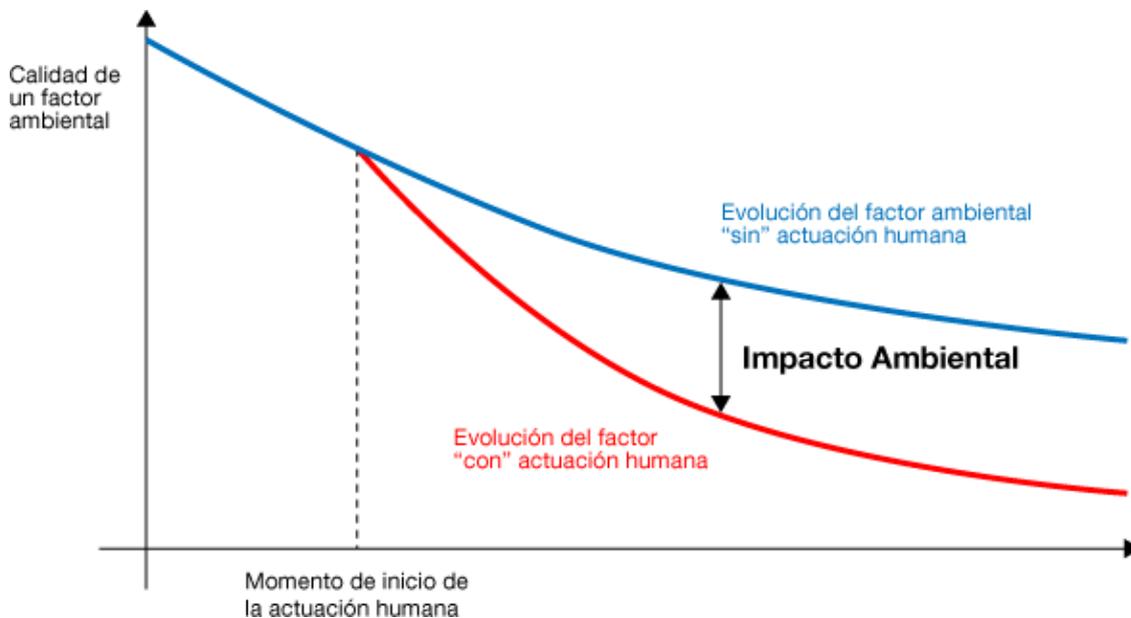
2.3.7. Impacto ambiental

El concepto de Impacto Ambiental refiere al efecto que produce una determinada acción humana sobre el medio ambiente en sus distintos aspectos. Es la alteración de la calidad ambiental en términos físicos, químicos, biológicos, paisajísticos y sociológicos. Es la alteración de la línea de base ambiental en términos de magnitud y extensión por una actividad o proyecto en una zona determinada (Perevochtchikova, 2013).

El impacto ambiental puede ser simple y complejo; positivo y negativo; reversible e irreversible; de baja intensidad y de gran intensidad; temporal y permanente; directo e indirecto; acumulativo y sinérgico. Pero es cuantificable y puede ser controlado mediante planes de manejo ambiental o ser anticipados mediante la evaluación de impacto ambiental. (Perevochtchikova, 2013). En la siguiente figura (Figura 22), se muestra la evolución de la curva de impactos ambientales.

Figura 22

Evolución del impacto ambiental



Nota: La evaluación multidimensional de los impactos ambientales se expresa mediante graficas en el plano cartesiano. Fuente: juntadeandalucia.es.

2.3.8. Metales pesados

Los metales pesados son un grupo de elementos químicos que presentan una densidad alta. Son metales cuya densidad alcanza hasta 5 veces la densidad del agua. Presentan alta toxicidad para los seres humanos y entre los más susceptibles de presentarse en el agua destaca principalmente el mercurio y el plomo, Hay una serie de metales pesados más conocidos por su tendencia a representar serios problemas medioambientales: el mercurio (Hg), el plomo (Pb), el cadmio (Cd) y el talio (Tl), así como el cobre (Cu), zinc (Zn) y cromo (Cr). En la siguiente tabla periódica se muestra la distribución de ellos metales pesados (Figura 23).

Figura 23

Distribución de metales pesados

Tabla Periódica de los Elementos

- Metales
- Metales pesados

H																	He																												
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne																												
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar																												
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr																												
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe																												
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn																												
Fr	Ra	Ac	Ku	Ha																																									
<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tbody> <tr> <td>Ce</td><td>Pr</td><td>Nd</td><td>Pm</td><td>Sm</td><td>Eu</td><td>Gd</td><td>Tb</td><td>Dy</td><td>Hb</td><td>Er</td><td>Tm</td><td>Yb</td><td>Lu</td> </tr> <tr> <td>Th</td><td>Pa</td><td>U</td><td>Np</td><td>Pu</td><td>Am</td><td>Cm</td><td>Bk</td><td>Cf</td><td>Es</td><td>Fm</td><td>Md</td><td>No</td><td>Lr</td> </tr> </tbody> </table>																		Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Hb	Er	Tm	Yb	Lu	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr
Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Hb	Er	Tm	Yb	Lu																																
Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr																																

Nota: Las partes que aparecen en rojo constituyen los metales pesados en la clasificación de la tabla periódica de elementos químicos.

Implicancias ambientales

La minería, legal e ilegal, es un factor de mucho peso a la hora de dejar desechos de metales pesados en ecosistemas vitales y delicados, como, por ejemplo, la selva amazónica, donde los mineros usan cantidades enormes de mercurio para extraer oro. Todo este mercurio va a los ríos, afectando la fauna y la flora, y produciendo bioacumulación de metales pesados en animales y plantas, que luego son consumidos por los humanos.

Otro factor de contaminación por metales pesados son los accidentes que producen derrames de sustancias tóxicas, incluso radioactivas, en grandes extensiones de tierra o agua, afectando de esta forma toda la cadena alimentaria de los delicados ecosistemas.

La contaminación por metales pesados y metaloides en recursos hídricos, suelos y aire plantea una de las más severas problemáticas que comprometen la seguridad alimentaria y salud pública a nivel global y local (Figura 24).

Figura 24

Degradación de lago Junín por relaves mineros



Nota: La concentración de metales pesados afecta directamente la fauna lacustre y altera la calidad paisajística, reduciendo su armonía y eficiencia ambiental.

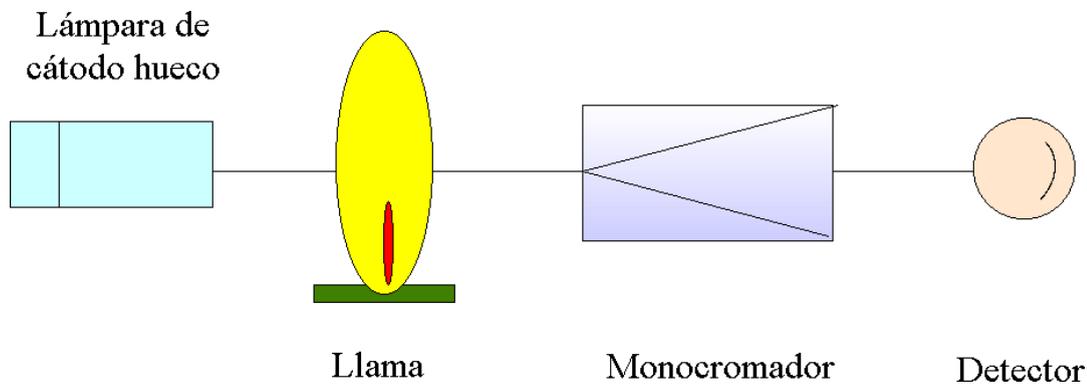
Métodos de detección y medición

Espectrofotometría de absorción atómica

Es el método más utilizado actualmente para hacer la detección de metales pesados en agua. La técnica de espectrofotometría de absorción atómica se basa en la absorción de la energía radiante de los átomos en estado fundamental. La muestra líquida que contiene la materia a analizar llega a un mechero quemador en el que se produce la atomización. Cuando se hace pasar a través de la nube atómica formada por una emisión electromagnética en la longitud de onda característica de los átomos presentes se produce una absorción que es proporcional a la concentración de átomos (Figura 25).

Figura 25

Componentes de un espectrómetro de absorción atómica



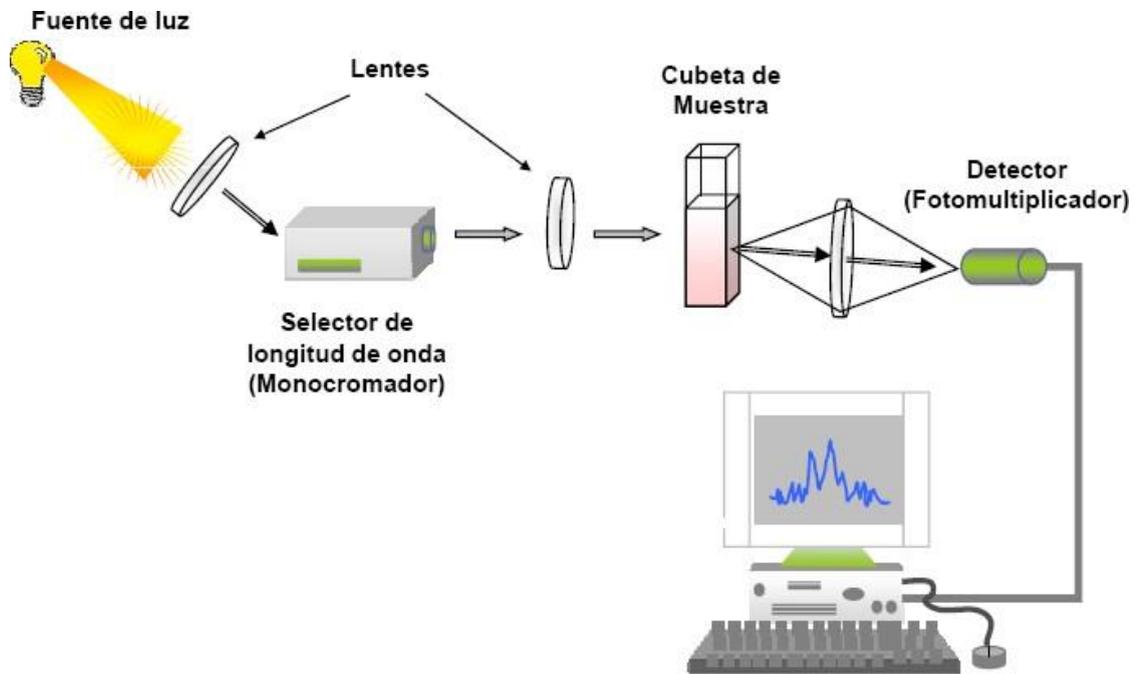
Nota: mediante este método se analiza los electrones de los átomos, mediante la absorción de luz de una determinada longitud de onda. Fuente: <http://absorcion-atmica.blogspot.com/2009/07/componentes-de-un-espectrometro-de.html>

Espectroscopía de emisión atómica

La espectroscopía de emisión atómica es un método que se fundamenta en el estudio de la radiación emitida por los átomos en todas las regiones del espectro. Cuando estos absorben energía se excitan y en dicho estado permanecen un tiempo muy corto del orden de 10^{-6} s, luego el átomo o molécula vuelve a su estado fundamental o no excitado emitiendo el sobrante de energía en forma de luz o cuantos luminosos (Figura 26).

Figura 26

Componentes de la espectroscopia de emisión atómica



Nota: La espectroscopia de emisión atómica permite analizar muestras como catalizadores, alimentos, aguas, muestras geológicas, biológicas, clínicas.

2.4. Definiciones de términos básicos

- Absortancia: Es la parte de la irradiancia que absorbe la superficie receptora, se mide en tantos por uno (Chuvienco, 2015).
- Área: Se considera área a cierta superficie que está marcada por límites, además de estar etiquetada como específica para algo (Villon, 2016).
- Coordenadas: Las coordenadas son un sistema de referencia que permite que cada ubicación en la Tierra sea especificada por un conjunto de números, letras o símbolos. Las coordenadas se eligen, en general, de manera que dos de las referencias representen una posición horizontal y una tercera que representa la altitud (Meza, 2017).
- Emisividad: Es la radiación de un cuerpo a una temperatura dada si su eficiencia fuera del 100 %. Todos los cuerpos tienen una emisividad algo inferior a 1. Teóricamente 1 es el grado de emisividad para un cuerpo negro (Chuvienco, 2015).
- Emitancia: Es la energía emitida por radiación desde una superficie por unidad de tiempo y de superficie (cantidad de energía que se transmite cada segundo por cada metro cuadrado de la superficie emisora) $M = \phi/A = Q/t \cdot A$, se mide en $J s^{-1} m^{-2} = W m^{-2}$ (Chuvienco, 2015).
- Georreferenciación: La georreferenciación o rectificación es un proceso que permite determinar la posición de un elemento en un sistema de coordenadas espaciales diferente al que se encuentra (Meza, 2017). Existen por tanto dos sistemas de coordenadas: el sistema origen y el sistema destino.
- Metales pesados: Los metales pesados son un grupo de elementos químicos que presentan una densidad alta (Chang & Goldsby, 2019). Son en general tóxicos para los seres humanos y entre los más susceptibles de presentarse en el agua destacan el mercurio, níquel, cobre, plomo y cromo.

- **Parámetro:** Es una cantidad numérica calculada sobre una población y resume valores que esta tome en algún atributo (Chuvienco, 2015). Intenta resumir toda la información que hay en una población en unos pocos números.
- **Perímetro:** Se refiere al contorno de una superficie o de una figura y a la medida de ese contorno (Villon, 2016). De esta manera el perímetro permite calcular la frontera de una superficie, por lo que resulta de gran utilidad.
- **Prospectiva:** La prospectiva es una disciplina de estudio que se apoya en la investigación a través de los métodos científicos y empíricos, para realizar análisis en diversas áreas y determinar o tener una idea bastante próxima de lo que puede suceder en el futuro (Godet, 2014).
- **Radiancia:** Es el flujo radiante (φ) que abandona una unidad de área en una dirección particular siguiendo un ángulo sólido particular. Las unidades en que se mide son $Wm^{-2} sr^{-1}$. Su importancia estriba en que es la magnitud que detecta el sensor (Chuvienco, 2015).
- **Raster:** Cualquier tipo de imagen digital representada en mallas (píxeles). Divide el espacio en celdas regulares donde cada una de ellas representa un único valor (Silva, 2020).
- **Reflectancia o albedo:** Es la parte de la irradiancia que refleja la superficie receptora, se mide en tantos por uno y se considera por tanto adimensional, es diferente para cada superficie receptora y para cada cuerpo (Chuvienco, 2015). La medida de la reflectancia puede hacerse teniendo en cuenta toda la semiesfera superior de una determinada superficie.
- **Series temporales:** Una serie temporal o cronológica es una secuencia de datos, observaciones o valores, medidos en determinados momentos y ordenados cronológicamente (Chuvienco, 2015).

- Transmitancia: Es la parte de la irradiancia que transmite la superficie receptora, se mide en tantos por uno. Lógicamente $\rho + \alpha + \tau = 1$ (Chuvienco, 2015).
- Unidades ambientales: Las "unidades ambientales" definen las zonas homogéneas de ecosistemas naturales e identifican las posibilidades y problemas para el desarrollo. Su delimitación y estructuración están básicamente concebidas en función de parámetros físicos, de humedad, temperatura, precipitación, caracterización fisionómica de vegetación, suelos y fisiografía (Herencia, 2019).
- Valoración: La valoración es un procedimiento matemático que cuantifica y da ponderación a los componentes ambientales o sistemas de unidades ambientales.
- Vectorial: Modelo lógico que se recoge la variabilidad y características de esta mediante entidades geométricas, para cada una de las cuales dichas características son constantes (Meza, 2017). Estos elementos geométricos son el punto, la línea y el polígono. Los vectores son ilustraciones digitales compuestas de puntos y rutas que permiten una profunda edición y optimización.

III.- HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis

3.1.1. Hipótesis general

Hg: El análisis multiespectral y multitemporal permiten la valoración multidimensional del impacto de los metales pesados en el lago Junín en el periodo 2015 – 2020.

H0: El análisis multiespectral y multitemporal no permiten la valoración multidimensional del impacto de los metales pesados en el lago Junín en el periodo 2015 – 2020.

3.1.2. Hipótesis específicas

- *H1*: El análisis multiespectral y multitemporal permiten la valoración multidimensional del impacto del cobre en el lago Junín en el periodo 2015 – 2020.
- *H0*: El análisis multiespectral y multitemporal no permiten la valoración multidimensional del impacto del cobre en el lago Junín en el periodo 2015 – 2020.
- *H2*: El análisis multiespectral y multitemporal permiten la valoración multidimensional del impacto del plomo en el lago Junín en el periodo 2015 – 2020.
- *H0*: El análisis multiespectral y multitemporal no permiten la valoración multidimensional del impacto del plomo en el lago Junín en el periodo 2015 – 2020.
- *H3*: El análisis multiespectral y multitemporal permiten la valoración multidimensional del impacto del zinc en el lago Junín en el periodo 2015 – 2020.

- H0: El análisis multiespectral y multitemporal no permiten la valoración multidimensional del impacto del zinc en el lago Junín en el periodo 2015 – 2020.

En la siguiente tabla se muestra la definición conceptual de las variables 1 y 2.

Tabla 7

Definición conceptual de las variables

Variables	Definición Conceptual
<p>Variable 1 (X): Análisis multiespectral y multitemporal</p>	<p>Es el estudio de las firmas espectrales que refleja y/o emite un determinado proceso, cuerpo o evento a lo largo de una secuencia sucesiva de intervalos de tiempo y cuyos efectos son definidos espacialmente (Alva, 2018).</p>
<p>Variable 2 (Y): Valoración multidimensional del impacto de los metales pesados</p>	<p>Es la valoración cuantitativa y cualitativa de la evolución de los impactos de los metales pesados en la calidad ambiental, en la calidad paisajística y en el comportamiento de la biodiversidad (Meza, 2018).</p>

Nota: La tabla muestra un tipo de correlación de variables además de la conceptualización de las mismas.

3.1.3. Operacionalización de las variables

Tabla 8

Operacionalización de las variables

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Índice	Técnica	Método
VARIABLE 1 Análisis multiespectral y multitemporal	Es el estudio de las firmas espectrales que refleja y/o emite un determinado proceso, cuerpo o evento a lo largo de una secuencia sucesiva de intervalos de tiempo y cuyos efectos son definidos espacialmente (Alva, 2018).	Se compone de dos dimensiones y tres indicadores. Consiste en discretizar la superficie analizada en series espacios temporales las mismas que se analizan mediante los índices espectrales.	Series multitemporales	Variación espacial de los metales pesados	% Área total	Recolección de imágenes Landsat 8	Enfoque: Cuantitativo/cualitativo Método: Deductivo-hipotético Tipo de investigación: Aplicada Nivel de investigación: Explicativo Diseño de investigación: No experimental longitudinal Unidad de análisis: Imágenes satelitales Landsat 8 Población: Metales pesados en el lago Junín Muestra: Metales pesados, Cu, Pb, Zn en el intervalo 2015-2020 y de los PC Muestreo: No probabilístico
			Firmas espectrales	Grado de reflectancia de los metales pesados	% Reflectancia	Recolección de imágenes Landsat 8	
				Grado de concentración de los metales pesados	mg/L	Recolección de imágenes Landsat 8	
VARIABLE 2 Valoración multidimensional del impacto de los metales pesados	Es la valoración cuantitativa y cualitativa de la evolución de los impactos de los metales pesados en la calidad ambiental, en la calidad paisajística y en el comportamiento de la biodiversidad basado en una encuesta calificada equivalente al Método Delphi y la Matriz de Leopold (Meza, 2018).	Se compone de tres dimensiones y cinco indicadores. Consiste en evaluar el impacto de los metales pesados en la calidad ambiental, la calidad paisajística y en la biodiversidad	Calidad ambiental	Calidad del agua	LMP/% Valoración	SMEWW – APHA – AWWA – WEF	Diseño de investigación: No experimental longitudinal Unidad de análisis: Imágenes satelitales Landsat 8 Población: Metales pesados en el lago Junín Muestra: Metales pesados, Cu, Pb, Zn en el intervalo 2015-2020 y de los PC Muestreo: No probabilístico
			Calidad paisajística	Calidad visual	%Valoración	Escala de Likert	
				Calidad escénica	%Valoración	Escala de Likert	
			Riqueza biológica	Flora	%Valoración	Escala de Likert	
Fauna	%Valoración	Escala de Likert					

Nota: Tabla según Directiva N° 004-2022-R

IV.- METODOLOGIA DEL PROYECTO

4.1. Diseño metodológico

Antes de abordar el diseño metodológico es pertinente señalar lo referente al tipo de investigación, se consideró la Guía Práctica para la Formulación y Ejecución de Proyectos de Investigación y Desarrollo (I+D).

4.1.1. Tipo, enfoque y nivel de investigación

La presente investigación atendiendo a la finalidad es de tipo aplicada, de enfoque cuantitativo/ cualitativo y de nivel explicativo porque ayuda a precisar el nivel de profundidad de la investigación. Una investigación explicativa, permite cuantificar y comparar la serie de cambios espaciales de los impactos ambientales a través del tiempo (análisis multitemporal). Además, se estableció la relación que hay entre la dimensión espacial de los impactos ambientales y su correspondiente similitud dinámica con la dimensión temporal.

4.1.2. Diseño de investigación

El diseño de investigación es el diseño no experimental de tipo longitudinal **(Hernández-Sampieri y Mendoza, 2018)**, ya que se hizo un muestreo espectral con las imágenes satelitales proporcionadas por las Landsat 8 y se evaluó la tendencia que sigue el impacto espacial de los metales pesados en el lago Junín.

El diseño de investigación es de tipo no experimental **(Hernández et al., 2014)**. Se utilizaron 12 series temporales de imágenes Landsat 8. Una imagen satelital durante la temporada húmeda y otra durante la temporada seca. Luego se evaluaron los parámetros que definen la contaminación y su comportamiento en relación con el tiempo, espacio y según la naturaleza física y bioquímica como contaminantes. Luego este resultado fue validado con muestras tomadas en campo.

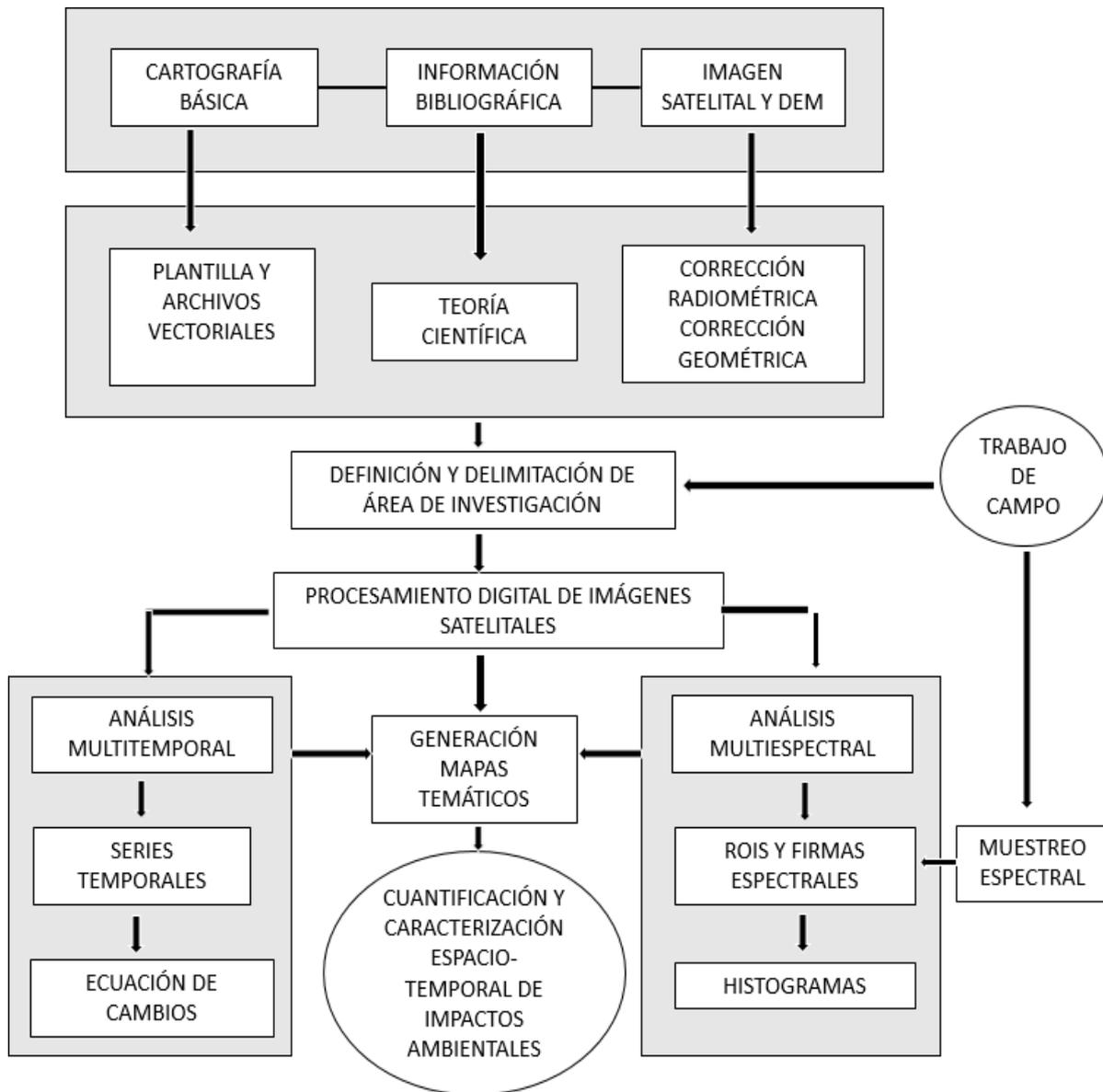
4.2. Método de investigación

La metodología utilizada en la presente investigación se centró principalmente en el análisis **deductivo - hipotético de las firmas espectrales** (Hernández-Sampieri y Mendoza, 2018) sobre la base de la interpretación bibliográfica y el procesamiento digital de imágenes satelitales relacionados con el análisis multiespectral y multitemporal, así como la caracterización y cuantificación espacio - temporal de los impactos ambientales, ocasionados por la concentración de los metales pesados.

Se combinaron el trabajo de gabinete con el trabajo de campo. Las investigaciones se hicieron dentro del marco del método científico que implica hacer observaciones, mediciones, registros, interpretaciones y conclusiones, el mismo que se explicita en el siguiente esquema (Figura 27).

Figura 27

Secuencia metodológica de la presente investigación



Nota: La secuencia metodológica de la presente investigación empieza con la descarga de imágenes satelitales, recopilación de información bibliográfica y finaliza con las pruebas de estadística inferencial.

En el diseño metodológico de esta investigación se consideraron dos técnicas fundamentales para el análisis multiespectral y multitemporal de las imágenes satelitales Landsat 8: Normalized Difference Water Index y el algoritmo genético.

Normalized Difference Water Index

El método de *normalized difference water index* o NDWI, permite delimitar los cambios de superficie de los cuerpos de agua, por ejemplo: Lagos, lagunas, ríos, pozos, etc. Esta metodología, en el presente trabajo de estudio, permitirá calcular el área y el perímetro del Lago Junín año a año desde el 2015 al 2020.

La metodología es computada usando la banda del Infrarrojo cercano (Banda NIR) y la banda de reflectancia de longitud corta (Banda SWIR):

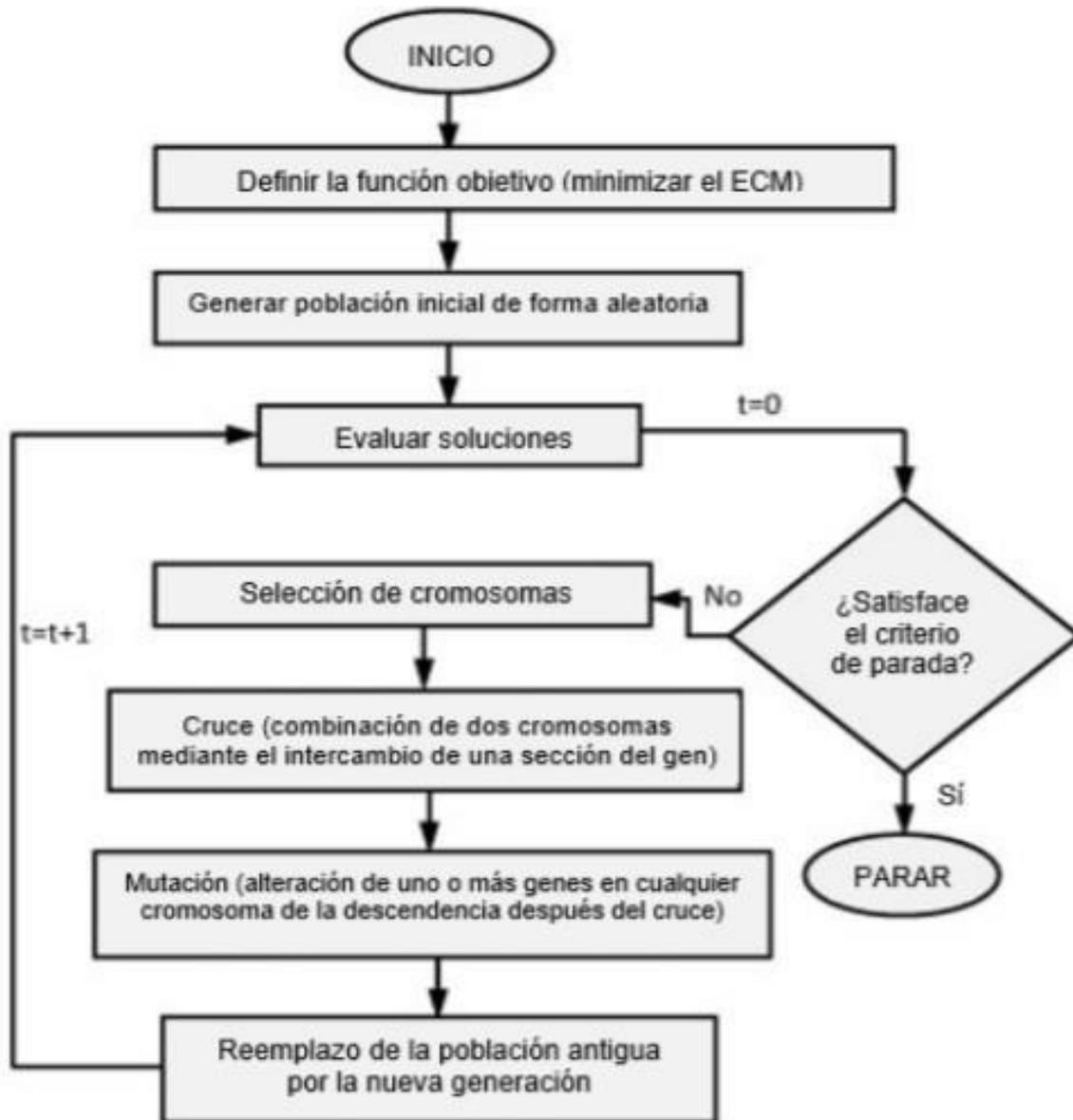
$$NDMI_t = \frac{NIR_t - SWIR_t}{NIR_t + SWIR_t}$$

Algoritmo Genético

Es la metodología propuesta por Swain & Sahoo, 2017. Permitió desarrollar una serie de ecuaciones para el análisis de Fe, TSS, Turbidez, Zinc, Cobre, Plomo y Cadmio mediante la combinación de un total de 1023 bandas Landsat 8. Este algoritmo está basado en un algoritmo biológico (que estudia los cromosomas), pero ha sido adaptado a las ciencias ambientales. Sus valores de correlación R en el campo de la estimación de concentraciones son aceptables, siendo: 0.71, 0.65, 0.69, 0.67, 0.74, 0.67, 0.68 y 0.63 respectivamente para los compuestos previamente establecidos, según la siguiente secuencia (Figura 28).

Figura 28

Diagrama de algoritmo de simulación



Nota: El modelo del algoritmo genético aplicado originalmente en las ciencias biológicas ahora tiene uso más difundido en el muestreo espectral de emisiones electromagnéticas. Fuente: Swain & Sahoo (2017).

Para esta investigación, el diagrama presentado se elaboró con Machine Learning, que permitió formular las ecuaciones en función de 250 conjuntos de datos para la estimación de la concentración de contaminantes, 150 conjunto de datos se

usaron para la calibración y agrupación de datos; mientras que 100 conjuntos de datos para la validación. Los algoritmos para la determinación de las concentraciones de los metales pesados de Cobre, Zinc y Plomo, en el lago Junín, son los siguientes (Figura 29):

Figura 29

Metodología de AG para los tres metales pesados

ALGORITMOS	
Metal	Metodología del algoritmo genético (GA)
Cu	$\log(Cu) = 9,13 (B2)^{0,80} + 7,59(B3)^{0,71} - 9,98(B4)^{0,52} + 9,63(B5)^{0,29} - 3,93$
Zn	$\log(Zn) = 3,12 (B2)^{0,13} - 20,00(B4)^{1,89} - 4,27(B5)^{0,11} + 1,82$
Pb	$\log(Pb) = -5,97 (B2/B3)^{-0,14} - 0,43(B5/B3)^{3,0} + 6,69$

Nota: en el AG se da la ponderación correspondiente a las bandas espectrales que forman parte de una ecuación lineal. Fuente: Swain & Sahoo (2017).

4.3. Población y muestra

4.3.1. Población

La población en la presente investigación lo constituyen los metales pesados contaminantes del lago Junín, graficados en los píxeles de las imágenes Landsat 8.

4.3.2. Muestra

Tanto para el análisis multiespectral y multitemporal, la muestra lo conforman los metales pesados Pb, Zn y Cu, contaminantes del lago Junín en el intervalo 2015-2020.

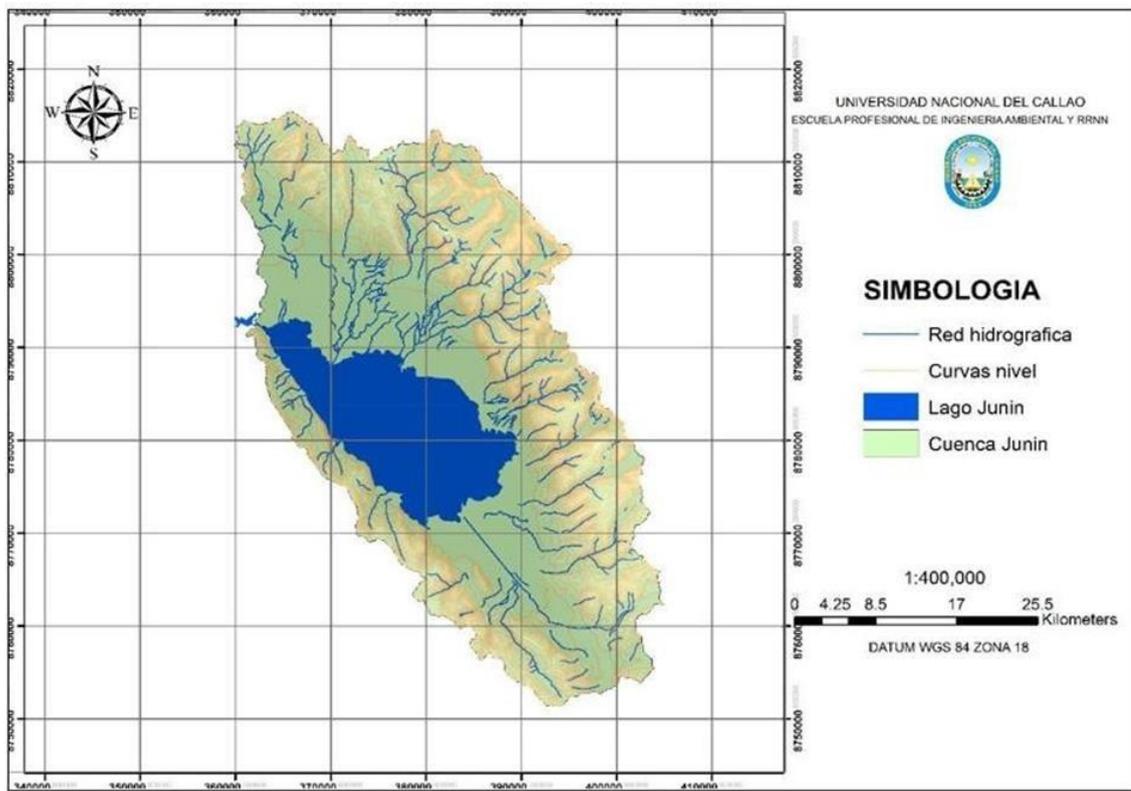
Asimismo, se eligieron tres zonas representativas afectadas directamente por los relaves mineros, fuente de contaminantes con metales pesados. La razón del muestreo fue para validar la metodología aplicada por procesamiento digital (NDWI y Algoritmo Genético), asociado a la combinación de bandas espectrales.

4.4. Lugar de estudio y periodo desarrollado

El área de estudio de la presente investigación constituye toda la extensión del lago Junín y su entorno ambiental dentro de la misma cuenca. El lago se sitúa en el extremo noroeste de la Pampa de Junín, entre las coordenadas geográficas 10°50'50" S - 75°59'25" W. y 11°09'55" S - 76°15'40" W y entre 8800000-360000 y 8760000-400000 en coordenadas UTM (Figura 30).

Figura 30

Límites y dimensiones del área de estudio



Nota: El área de estudio es el ámbito que cierra la extensión del lago Junín, el cual de 530Km². Dentro de estos límites se analiza la concentración y dispersión de los metales pesados: Cu, Pb, Zn.

El rango altitudinal oscila entre los 4080 msnm a 4125msnm. El lago Junín forma parte de la Reserva Nacional de Junín que comprende el mismo lago y el área adyacente en una extensión de 530000 ha (año 2019), por lo que se constituye en una de las áreas de mayor valor paisajístico, ecológico e hídrico del Perú (Dourojeanni, 2019)

4.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de la información

4.5.1. Técnicas

La técnica de investigación utilizada en el presente trabajo está relacionado al procesamiento geoespacial, el análisis multiespectral y el análisis multitemporal, además del muestreo en campo y series de encuestas para la valoración multidimensional de los impactos ambientales.

El procesamiento geoespacial permitió hacer el tratamiento digital de las imágenes satelitales mediante la corrección geométrica y la corrección atmosférica (radiométrica).

El análisis multiespectral, se fundamentó en la combinación de bandas espectrales de Landsat 8, el algoritmo genético, y la diferenciación espectral y refracción que permitieron identificar el tipo de contaminantes según su grado de reflectancia y emisividad en relación a los metales pesados.

El análisis multitemporal permitió, identificar la distribución espacial de los metales pesados en el lago Junín a lo largo de 5 años.

Para el procesamiento geoespacial, análisis multiespectral y el análisis multitemporal, se utilizaron Software ArcGIS 10.5, Guía de procesamiento satelital de la NASA (NASA, 2019) y el Software QGIS

El muestreo de campo permitió el recojo de muestras en sitios de control, en cuadrados de 2 metros por 50cm de profundidad, todo esto para validar los resultados del procesamiento geoespacial y multiespectral. Para ello se utilizaron botellas ámbar de 1L y ácido nítrico (70 gotas). La serie de encuestas según la escala de Likert, se utilizaron para recabar información de la población lugareña, para la valoración del impacto de los metales pesados en la calidad ambiental, calidad paisajística y en la riqueza biológica del lago Junín.

4.5.2. Trabajo de campo

Etapas y exploración preliminar

Después de la planificación en la fase gabinete se desarrolló trabajo en campo. Se llevó a cabo en el intervalo septiembre - diciembre 2019, que corresponde a una época de estación semiseca con bajas precipitaciones. El trabajo de campo comprende las siguientes actividades: Exploración panorámica del lago Junín y su entorno ambiental. Para esto se hizo un recorrido en sentido antihorario empezando en la ciudad de Junín, luego pasando por Carhuamayo, Opamayo, Vico y Ondores. Subiremos a la cima de la colina de Ondores (mirador de Conoc) sobre los 4500 msnm, para ganar perspectiva y tener una visión paisajística del lago Junín, lo que permitió la identificación de los centros de explotación minera y sistemas urbanos circundantes (Figura 31).

Figura 31

Mirador de Ondores



Nota: el mirador de Ondores es un punto estratégico para la descripción del área de estudio en términos de su calidad paisajística y escena paisajística.

Sobre la Carta Nacional de 1:100000, se anotaron la ubicación UTM de explotaciones mineras y sistemas urbanos. Para luego hallar sus áreas de influencia

directa e indirecta. Se hizo georreferenciación y mapeo de los focos o fuentes contaminantes. Se tomaron en cuenta las explotaciones mineras y centros urbanos más importantes como foco o fuente de contaminación, que afecta directamente la calidad ambiental del lago Junín. Se tomó como referencia la magnitud y el tipo de contaminantes generados por estos focos. Se identificó y delimitó áreas del lago Junín en proceso de contaminación. Para este caso nos ubicamos en los puntos de afluencia de descargas mineras y urbanas. Desde ahí se hizo la proyección en ArcGIS para utilizar el método topográfico calculando así el área y dirección de flujo browniano de los contaminantes (Figura 32)

Figura 32

Zona de mayor impacto del lago Junín



Nota: el lado Nor- Este del lago Junín es la zona que recibe la totalidad de relaves mineros que genera grandes impactos ambientales en las aguas y los ecosistemas.

Muestreo y mediciones directas

Se utilizó la técnica de muestreo superficial y el patrón de muestreo de localización para áreas de contaminación minera con concentraciones de metales pesados, en cuerpos de agua y suelo, considerándose la Guía para muestreo de suelos en el marco del D.S. N° 004- 2017-MINAM. En las zonas de afluencia o decantación (zonas pantanosas), que corresponde al lado Norte del lago Junín, se tomaron las muestras simples de agua contaminada con metales pesados, que permitió determinar el grado de contaminación de la misma en laboratorio.

Encuestas y fotografía

La *ficha de encuesta* utilizada fue para recabar información de valoración de los impactos ambientales, con lo que se trabajó con los habitantes de los centros urbanos circundantes al lago. La ficha denominado *hoja de campo* se utilizó para registrar imágenes, fotografías o croquis relacionado con la observación, descripción y caracterización de los impactos ambientales y también de las condiciones ambientales que caracterizan el lago Junín.

4.6. Análisis y procesamiento de datos

El análisis y procesamiento de datos siguió la siguiente secuencia:

Para obtener las imágenes satelitales del área se eligió la serie Obtención de imágenes satelitales e información cartográfica

LANDSAT 8 disponibles y descargables desde la base de datos del servicio geológico de los Estados Unidos (USGS, por sus siglas en inglés), desde su página institucional (www.earthexplorer.com).

Se descargaron 12 imágenes satelitales. Se formaron 6 series representando la temporada húmeda y la temporada seca por cada año de estudio, entre 2015 y 2020 (Tabla 9).

Tabla 9

Serie temporales de imágenes satelitales Landsat 8

SERIES TEMPORALES	PLATAFORMA	SENSOR	% NUBOSIDAD	RESOLUCIÓN ESPACIAL
Marzo – 2015	LANDSAT 8	OLI y TIRS	88	30
Agosto – 2015	LANDSAT 8	OLI y TIRS	88	30
Marzo-16	LANDSAT 8	OLI y TIRS	90	30
Agosto – 2016	LANDSAT 8	OLI y TIRS	90	30
Marzo – 2017	LANDSAT 8	OLI y TIRS	90	30
Agosto – 2017	LANDSAT 8	OLI y TIRS	90	30
Marzo – 2018	LANDSAT 8	OLI y TIRS	90	30
Agosto – 2018	LANDSAT 8	OLI y TIRS	90	30
Marzo – 2019	LANDSAT 8	OLI y TIRS	95	30
Agosto – 2019	LANDSAT 8	OLI y TIRS	95	30
Marzo – 2020	LANDSAT 8	OLI y TIRS	95	30
Agosto-20	LANDSAT 8	OLI y TIRS	95	30

Nota: Los sensores OLI y TIRS, permiten captar imágenes de la superficie de la tierra de hasta una resolución de 30 metros cada 90 o 95 días.

El proceso de descarga siguió una estricta supervisión basado en los siguientes criterios: El porcentaje de nubosidad menor a 5% de la totalidad de la imagen, con bandas espectrales completas. Landsat 8 contienen 11 bandas, 1 de calidad y 2 de textos de descriptado.

Respecto a la información cartográfica, se tomaron en cuenta las siguientes cartas nacionales 22I, 22K, 23I, 23K, de escala 1:100000 y para la información de elevación el modelo digital de elevación SRTM Shuttle Radar Topography Mission, 15-21. Adicionalmente también se requirió capas en formato shapefile de delimitación de cuencas (Pfafstetter) hasta el nivel 7, proporcionado por la ANA y para el caso de centros poblados, el formato shapefiles, del INEI.

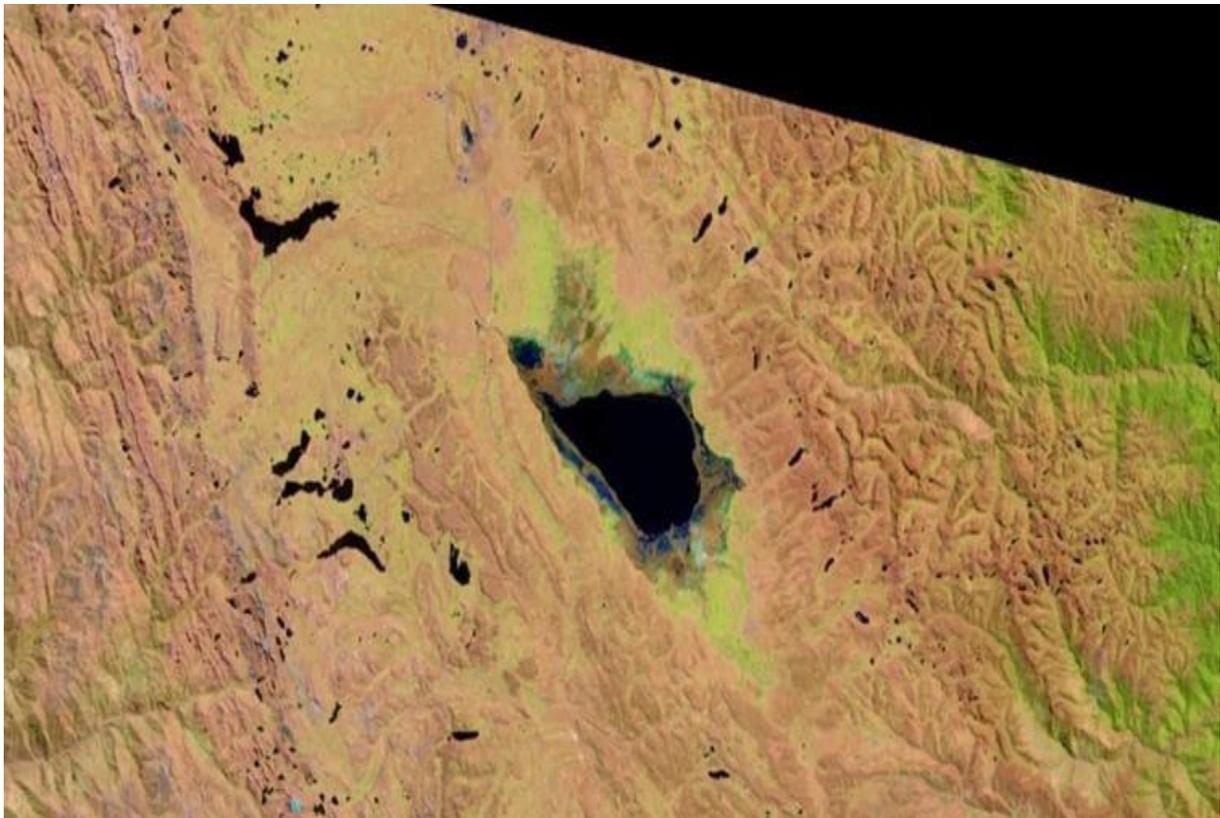
Pre-procesamiento de imágenes satelitales

En esta etapa se hizo la corrección radiométrica (atmosférica) y geométrica para corregir el ruido y el desplazamiento en los píxeles. Con el fin de reducir distorsiones geométricas provocadas por la curvatura de la tierra, se hizo la ortorectificación de las escenas de Landsat 8 para estandarizar las proyecciones geográficas Datum a UTM WGS 1984 en la zona 18S. Se utilizó el software: ArcGIS.

El proceso de corrección atmosférica consistió en eliminar el porcentaje de incertidumbre producto de las nubes, humedad y viento que generan ruido en la visibilidad de las imágenes satelitales. Mientras que las correcciones radiométricas se aplicaron para corregir el movimiento de la imagen debido al desplazamiento del satélite, obteniéndose la siguiente imagen (Figura 33).

Figura 33

Imagen satelital del lago Junín con corrección geométrica y atmosférica



Nota: La corrección radiométrica trata de corregir valores erróneos en píxeles concretos y la corrección geométrica ubica los píxeles en el espacio geográfico corrigiendo las posibles distorsiones.

Combinación de bandas y cálculo de índices espectrales

La combinación de bandas e índices espectrales permitió, primero la discretización espacial del área de estudio, así como la determinación de los niveles de emitancia y reflectancia espectral de los tres metales pesados: Cobre, zinc y plomo que caracterizan el lago en un contexto de múltiples impactos ambientales. Por otro lado, la combinación de bandas espectrales permitió obtener imágenes multibanda con la que se hizo una simulación espectral y radiométrica de la escena de estudio, obteniendo información de las propiedades físicas, químicas, biológicas y geométricas de la zona de estudio. A continuación, se muestran las distintas combinaciones

espectrales que se utilizaron en la presente investigación (Figuras 34, 35, 36. 37, 38, 39, 40).

Figura 34

Color natural Landsat 8 (4,3,2)



Fuente: (GIS & Beers, 2018).

Figura 35

Falso color (para zonas urbanas) Landsat 8 (7,6,4)



Fuente: (GIS & Beers, 2018).

Figura 36

Infrarrojo (para vegetación) Landsat 8 (5,4,3)



Fuente: (GIS & Beers, 2018).

Figura 37

Agricultura: Landsat 8 (6,5,2)



Fuente: (GIS & Beers, 2018)

Figura 38

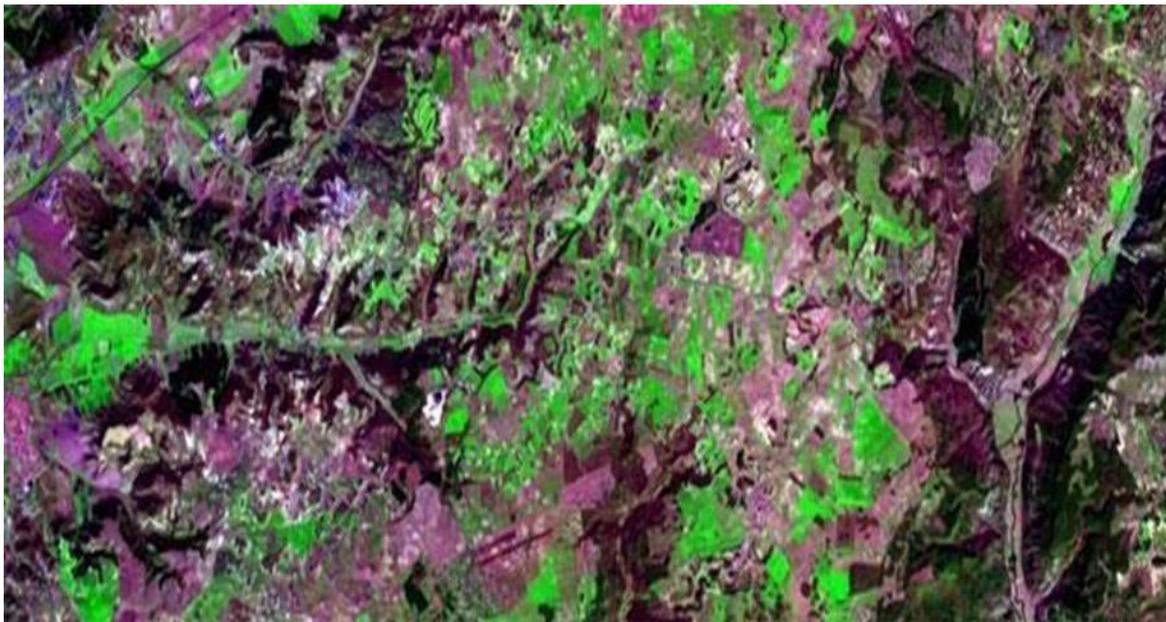
Usos del suelo/masas de agua: Landsat 8 (5,6,4)



Fuente: (GIS & Beers, 2018)

Figura 39

Infrarrojo de onda corta: Landsat 8 (7,5,4)



Fuente: (GIS & Beers, 2018)

Figura 40

Análisis de vegetación sana: Landsat 8 (5,6,2)



Fuente: (GIS & Beers, 2018)

Comprobación de muestreo espectral

Esta etapa de la investigación corresponde al trabajo de campo cuyo objetivo principal fue la identificación de los puntos de control, donde se tomaron las muestras. Esto corresponde a la zona norte del lago Junín, que es directamente la afectada por relaves mineros provenientes de las minas de Cerro de Pasco. Una vez determinados los puntos de control se procedió a la toma de muestras para su análisis en el laboratorio.

Con el objetivo de ajustar los valores realizados mediante teledetección, se realizó el muestreo del lago Junín. Se tomaron tres (03) muestras distribuidas a lo largo de la vertiente norte del lago. Se siguió la Guía para muestreo de agua en el marco del D.S. N° 004-2017-MINAM, para la toma correcta de muestra para el análisis de cobre, plomo y zinc.

Análisis estadístico de los datos

Una vez obtenido los datos de muestreo espectral y muestreo en campo, así como la información relacionada a las encuestas y series temporales, se procedió al análisis estadístico descriptivo e inferencial.

Para el análisis estadístico de las series temporales, así como de los valores numéricos de concentración de los metales pesados, se utilizaron los softwares libres SPSS y MINITAB, que permitieron estimar la media aritmética, la desviación estándar y los coeficientes de variación con un nivel de significancia $\alpha=0.05$. Se determinó la prueba de alfa de Cronbach, la prueba de normalidad y la correlación de Pearson entre los indicadores físico-químicos del agua insitu y los niveles digitales (ND) asociados a los niveles de reflectancia a distintas longitudes de onda del espectro electromagnético, captados por el satélite Landsat 8. El procesamiento estadístico, se complementó con la calculadora ráster y vectorial del software ARCGIS que fue determinante para el modelamiento espacio-temporal de los impactos ambientales.

4.7. Aspectos éticos en investigación

Los autores de esta investigación aseguran la autenticidad de los resultados obtenidos, así como el respeto irrestricto de los autores que sustentan el marco teórico de esta investigación, al hacer la citación correspondiente según la Norma ISO.

La investigación científica es una responsabilidad de alto nivel, es un acuerdo con la ciencia, el conocimiento y con la solución de problemas, en ese sentido, en este caso la investigación busca aportar conocimientos técnicos y prácticos, en relación al control de los impactos ambientales conociendo la magnitud y frecuencia de los contaminantes mediante la técnica del muestreo espectral y el análisis multitemporal,

así como el muestreo directo. En ese sentido la presente investigación prevé dar alternativas de solución a un problema que es muy recurrente en la afectación de los ecosistemas frágiles como el lago Junín. Por lo tanto, en esta investigación, se ratifica primero en tomar en cuenta los autores que han aportado para fundamentar este proyecto de investigación, a la vez que esta investigación resulte original y útil en el ámbito académico y técnico.

V.- RESULTADOS

Los resultados se desarrollaron en función a los objetivos de la presente investigación. Análisis multiespectral y multitemporal de la concentración de los metales pesados.

5.1. Resultados descriptivos

La valoración espectral de los metales pesados en cuerpos de agua, se determinó mediante la técnica del algoritmo genético, combinando las bandas 4, 5 y 6 de Landsat 8 y aplicando las siguientes ecuaciones:

$$\text{Log (Cu)} = 9.13(B2)^{0.80} + 97.59(B3)^{0.71} - 9.98(B4)^{0.52} + 9.63(B5)^{0.29} - 3.93$$

$$\text{Log (Zn)} = 3.12(B2)^{0.13} - 20.00(B4)^{1.89} - 4.27(B5)^{0.11} + 1.82$$

$$\text{Log (Pb)} = -5.97 \left(\frac{B2}{B3} \right)^{-0.14} - 0.43 \left(\frac{B5}{B3} \right)^{3.0} + 6.69$$

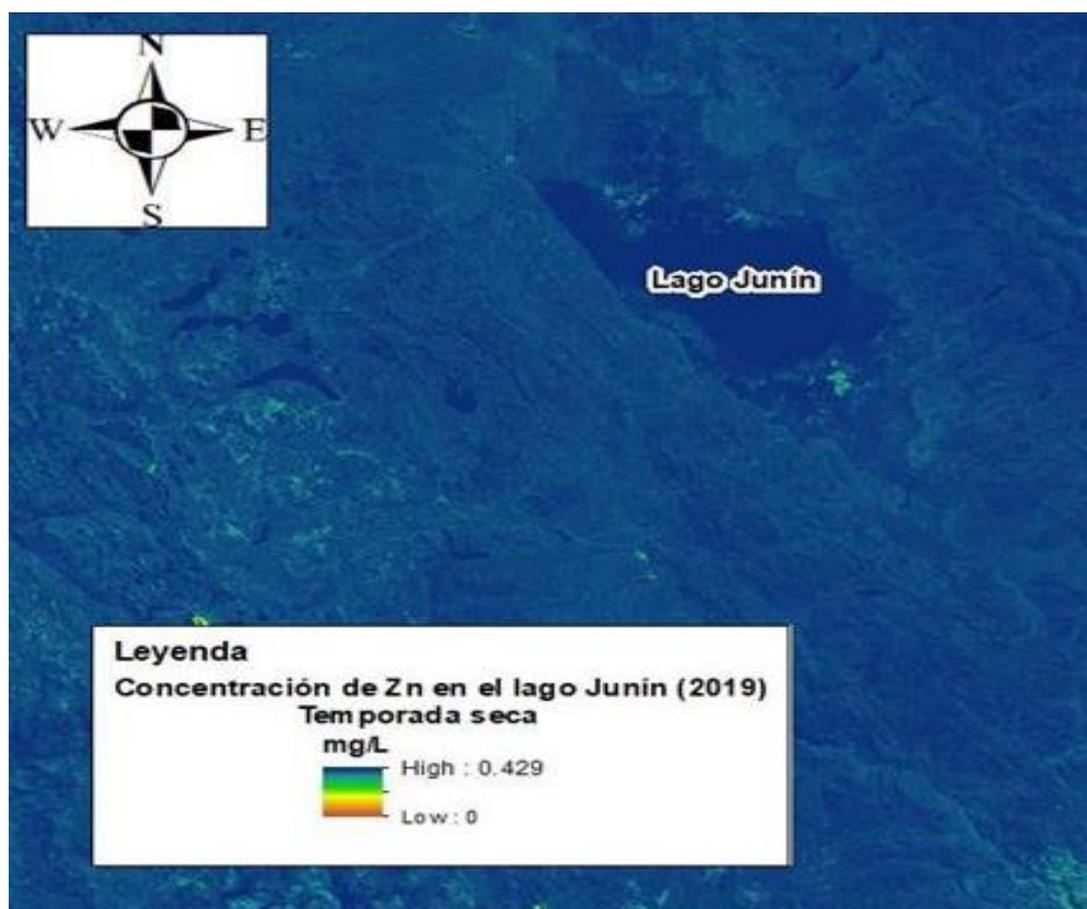
Los resultados del análisis multiespectral de las imágenes de satélite Landsat 8, respecto a las aguas del lago Junín, muestran un elevado porcentaje de reflectancia de radiaciones electromagnéticas y esto tiene correlación con altas concentraciones de metales pesados. Estas concentraciones en el periodo comprendido entre el año 2015 y 2020, se encuentran por encima de los límites máximos permisibles.

Se observa la distribución de la concentración de Plomo, Zinc y Cobre en un rango de 0.382 a 0.396 mg/L, de 0.266 a 0.288 mg/L y de 0.874 a 0.929 mg/L, respectivamente para la temporada húmeda. Mientras que para la temporada seca las concentraciones son: Pb de 0.512 a 0.712 mg/L, Zn de 0.358 a 0.429 mg/L y Cu de 0.956 a 1.314 mg/L.

La concentración y distribución de los metales pesados en el lago Junín disminuye desde la zonas litorales hacia el centro del lago; también varía de acuerdo a las estaciones del año con mayores concentraciones duramente los meses de otoño, invierno y primavera que corresponde a periodos de sequía; contrariamente ocurre durante los meses de verano, donde el lago se purifica debido a las altas descargas pluviales, que ralentizan la contaminación del Cu, Pb y Zn, tal como se muestra en las siguientes figuras (Figuras 41, 42, 43).

Figura 41

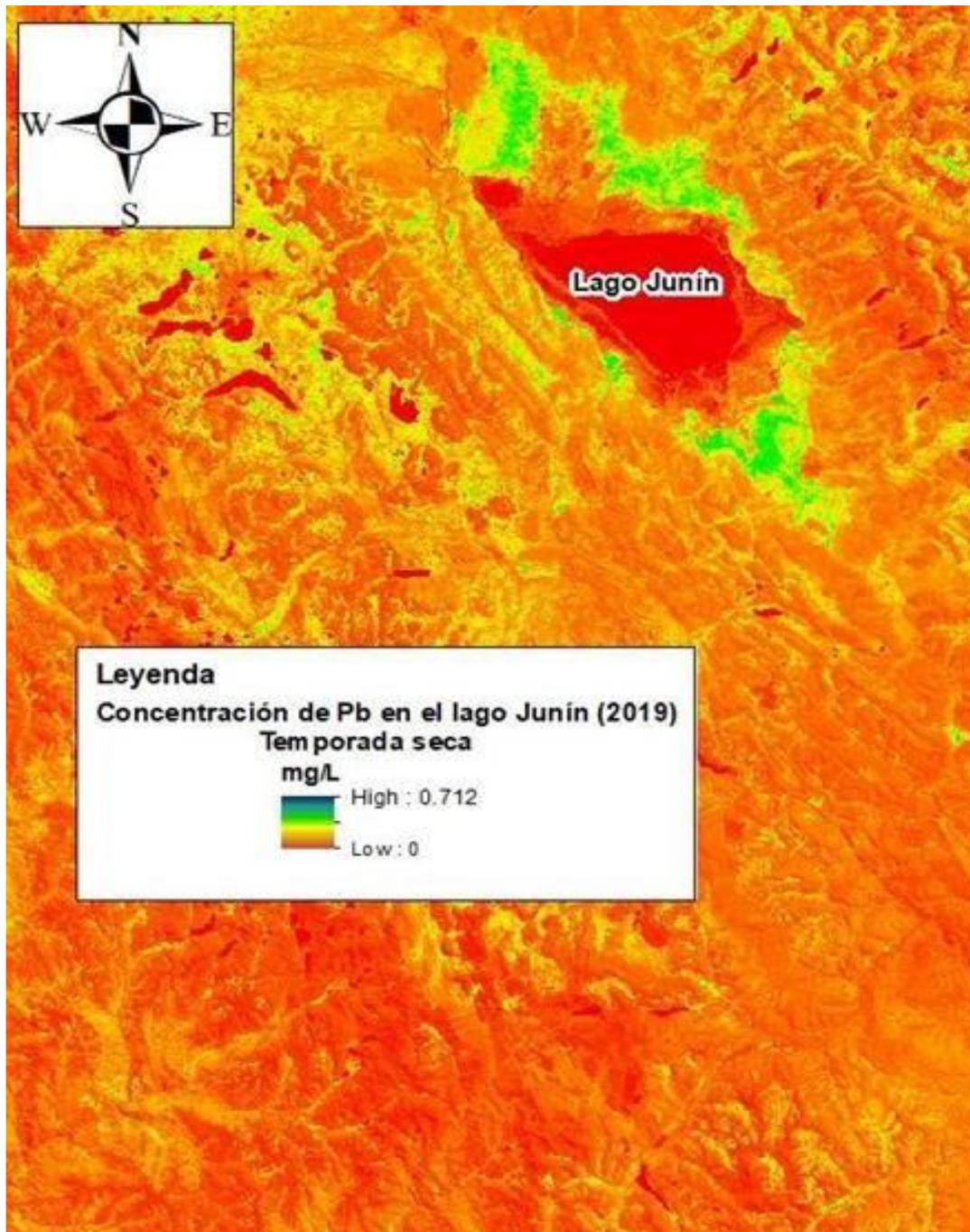
Concentración del Zn en temporada seca



Nota: La imagen espectral muestra concentración de Zn llegando hasta 0.429mg/L en temporada seca.

Figura 42

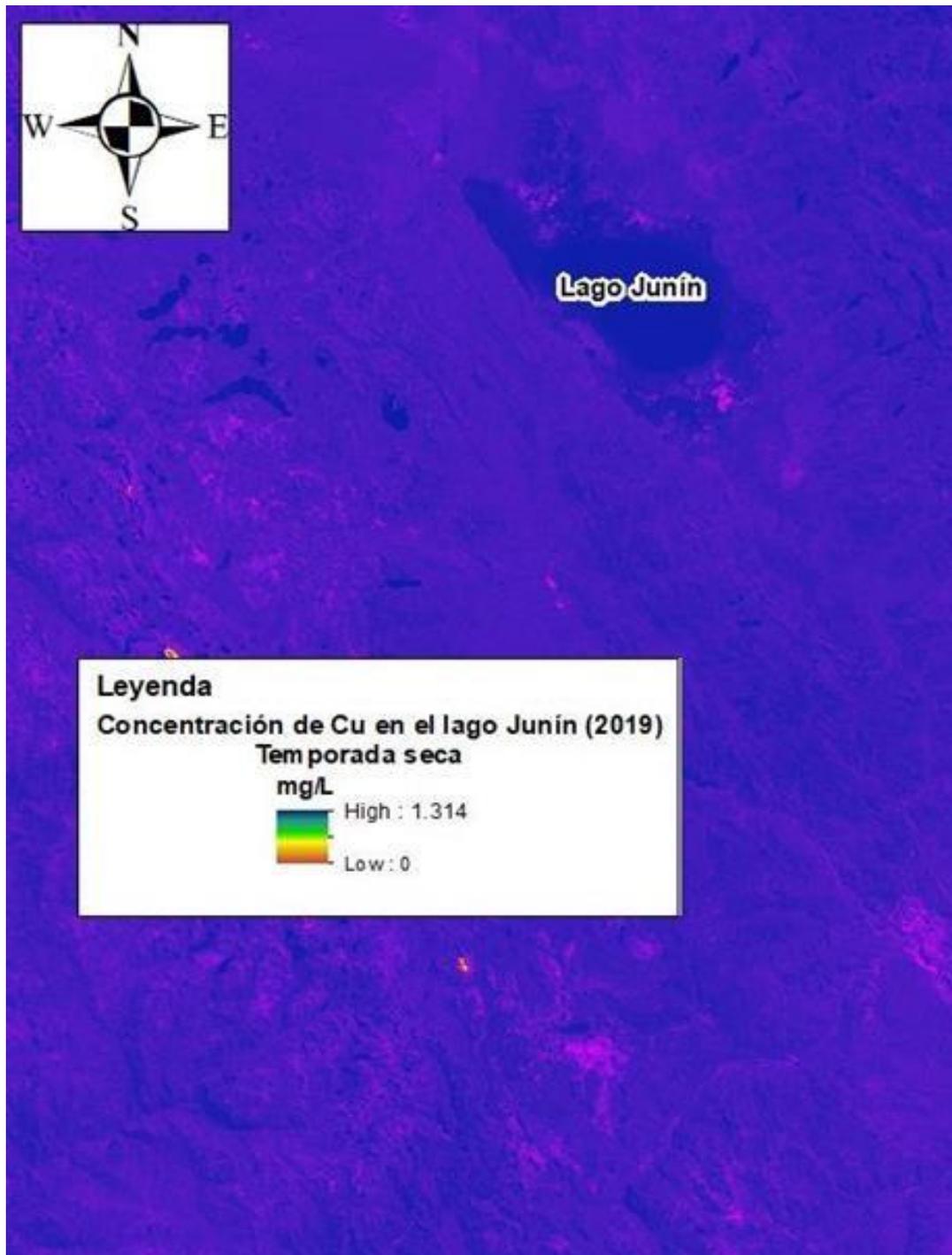
Concentración del plomo en temporada seca



Nota: El muestreo espectral indica altas concentraciones de Pb en el lago Junín en la temporada seca llegando hasta 0.712mg/L

Figura 43

Concentración del cobre en temporada seca



Nota: El muestreo espectral indica altas concentraciones de Cu en el lago Junín en la temporada seca llegando hasta 1.314mg/L

Considerando la media del porcentaje de error estimado por la comparación entre los valores reales y simulados, se consideró en este trabajo un valor de error de un +/- de un 5 a 14%.

En el promedio global de los 6 años, la cantidad de plomo (Pb) está sobre 21000%; el cobre (Cu) sobre 1007.25% y el zinc (Zn) sobre 280.8%, de los límites máximos permisibles, según la normativa nacional.

5.1.1. Concentración y distribución del cobre (Cu)

Comportamiento multiespectral

La cantidad de cobre medido entre el año 2015 y 2020, en las aguas del lago Junín oscila en torno a 1.007mg/l. esta concentración excede en 0.907 mg/L, que establece la norma (LMP= 0.1mg/L). En la siguiente tabla se muestra los niveles de concentración del cobre en el lago Junín (Tabla 10)

Tabla 10

Niveles de concentración de Cu en el lago Junín

Niveles de concentración del cobre (mg/L)			
Año	Época húmeda	Época seca	Media
2015	0.877	0.965	0.921
2016	0.874	0.956	0.915
2017	0.926	0.995	0.9605
2018	0.917	1.152	1.0345
2019	0.916	1.314	1.115
2020	0.929	1.266	1.0975
Promedio	0.9065	1.108	1.00725
Desviación estándar.	0.024549949	0.158529493	0.08790037

Nota: La tabla muestra concentraciones de Cu para temporada seca y para temporada húmeda, donde se observa una cierta diferencia.

5.1.2. Distribución multitemporal

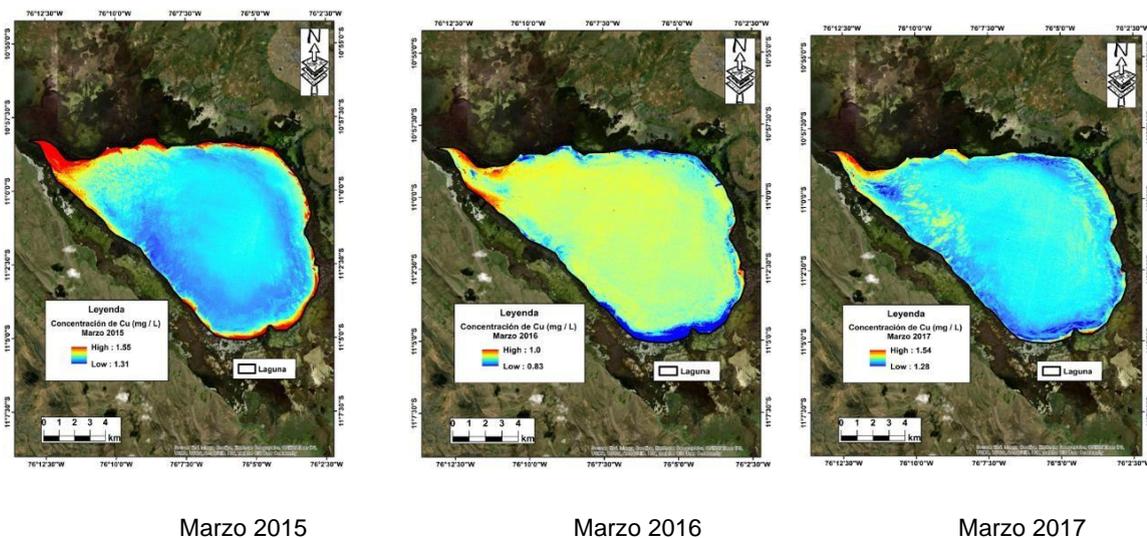
La distribución espacial del cobre como metal pesado en las aguas del lago Junín, tiene un comportamiento aleatorio. En altas concentraciones se distribuye en áreas adyacentes a zonas litorales, principalmente en el lado Norte del lago Junín, que es la parte más degradada por los relaves mineros.

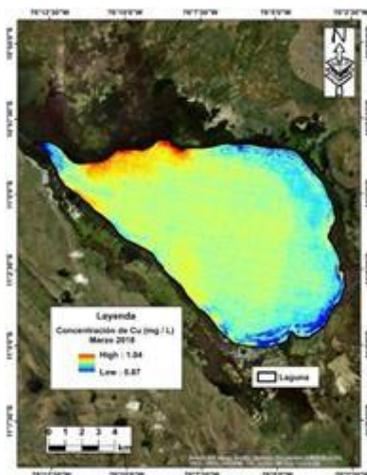
La distribución espacial del Cu varía entre los meses que corresponde a la estación lluviosa y los meses de estación seca. Se observa altas concentraciones durante los meses de sequía, debido a la ausencia de las precipitaciones y a la fuerte insolación que genera mayor pérdida de agua por evaporación y la consiguiente decantación de minerales pesados.

En las siguientes figuras se observan la concentración y distribución espacial del Cu, durante el mes de marzo, que coincide con una época lluviosa (Figura 44). En marzo del 2015 y marzo del 2017, el lago Junín presentó bajas concentraciones de Cu abarcando solo el 8% de su extensión.

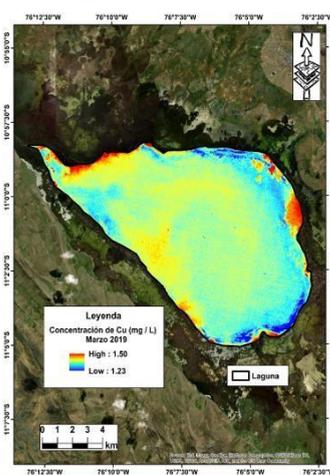
Figura 44

Distribución y concentración del Cu en época lluviosa

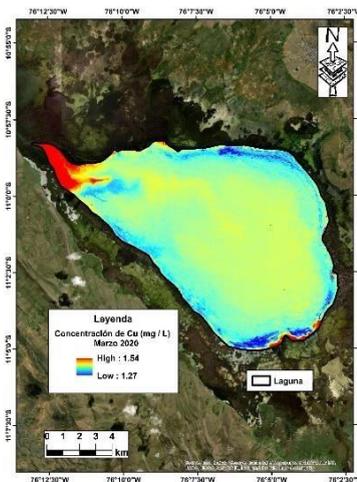




Marzo 2018



Marzo 2019



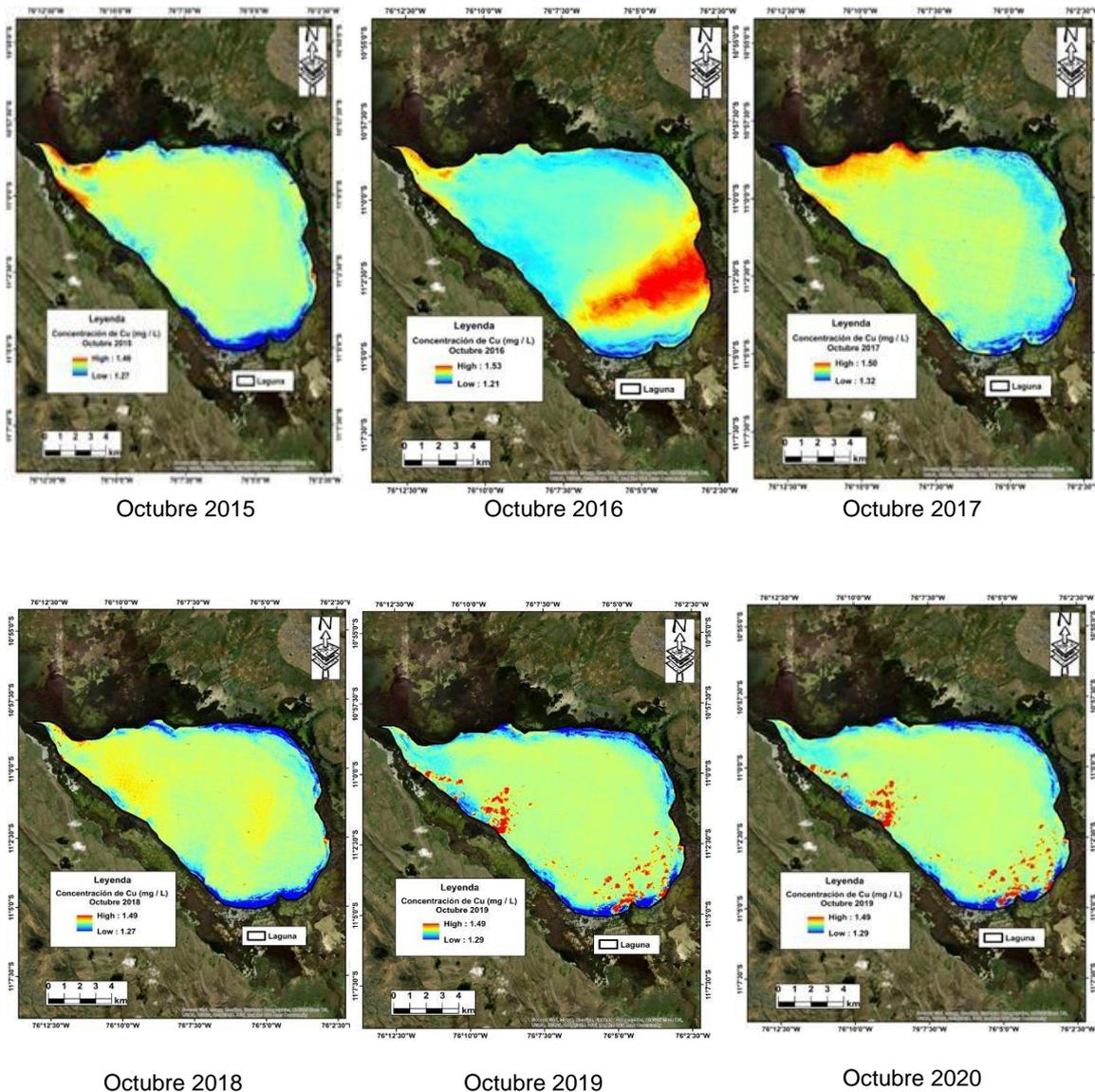
Marzo 2020

Nota: En las imágenes se muestran las 6 series temporales de la distribución y concentración del Cu durante los meses lluviosos.

Durante los meses de estación seca los niveles de concentración y distribución del Cu aumenta notablemente, tal como se observa en la siguiente figura (Figura 45). En octubre del 2017, se observa alta concentración de Cu en el lado su-oriental del lago Junín y está asociada a grandes descargas de relaves mineros que llegaron repentinamente.

Figura 45

Distribución y concentración del Cu en época de sequía



Nota: En las imágenes se muestran las 6 series temporales de la distribución y concentración del Cu durante los meses de sequía.

La distribución del Cu en el lago Junín, tiene un comportamiento aleatorio que tiene relación directa con el grado de explotación minera, ya que la influencia de las condiciones climáticas no tiene un patrón claramente definido. En el Tabla 11, la mayor concentración de Cu se dio en la serie 2016 B que corresponde al mes de octubre (estación de sequía).

Tabla 11*Distribución multitemporal del Cu según las series correspondientes*

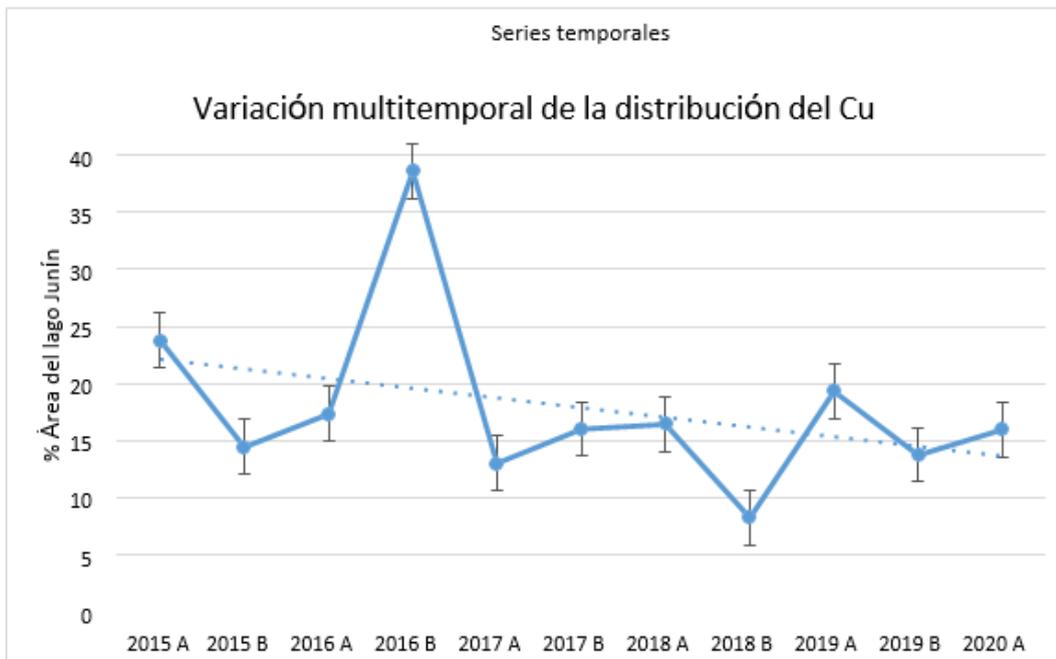
Distribución multitemporal del Cu (Área lago Junín = 529.426Km ²)		
Series	Área (m2)	Área (%)
2015 A	99479.15	18.79
2015 B	50030.76	9.45
2016 A	65384.11	12.35
2016 B	177781.25	33.58
2017 A	42497.03	8.027
2017 B	58342.75	11.02
2018 A	60619.28	11.45
2018 B	17206.35	3.25
2019 A	75760.86	14.31
2019 B	46324.78	8.75
2020 A	58130.97	10.98

Nota: La tabla muestra la variación porcentual del área contaminada por el Cu durante las 11 series temporales.

La máxima dispersión espacial del Cu, ocurrió en la serie 20126B, que corresponde al mes de octubre del 2016. Las concentraciones altas del Cu abarcaron el 33.58% del área total del lago, tal como se muestra en la siguiente figura que explica la evolución multitemporal del Cu sobre la superficie del lago Junín (Figura 46).

Curiosamente en el mes de octubre del 2018 (Serie 2018B), que es una época de sequía, las concentraciones altas del Cu abarco solo el 3.25% del área de la laguna, por lo que se deduce una disminución en la evacuación de relaves mineros, antes que por las condiciones climáticas (Figura 47).

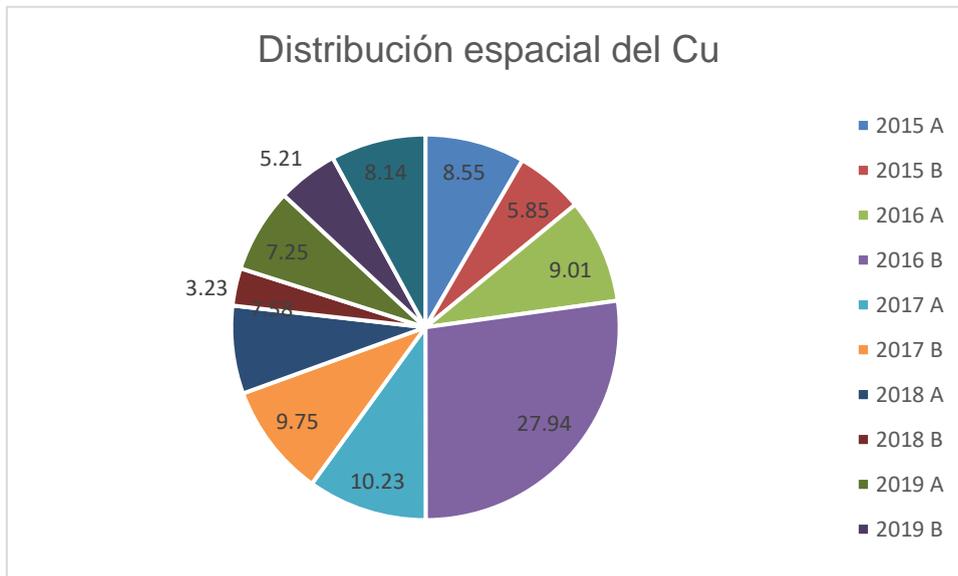
Figura 46 Variación multitemporal de la distribución del Cu



Nota: Según la gráfica en el año 2016 ocurrió la mayor concentración de Cu en el lago Junín, aunque los últimos años esa tendencia disminuyó.

Curiosamente en el mes de octubre del 2018 (Serie 2018B), que es una época de sequía, las concentraciones altas del Cu abarco solo el 3.25% del área de la laguna, por lo que se deduce una disminución en la evacuación de relaves mineros, antes que por las condiciones climáticas (Figura 47).

Figura 47 Distribución del Cu para todas las series multitemporales

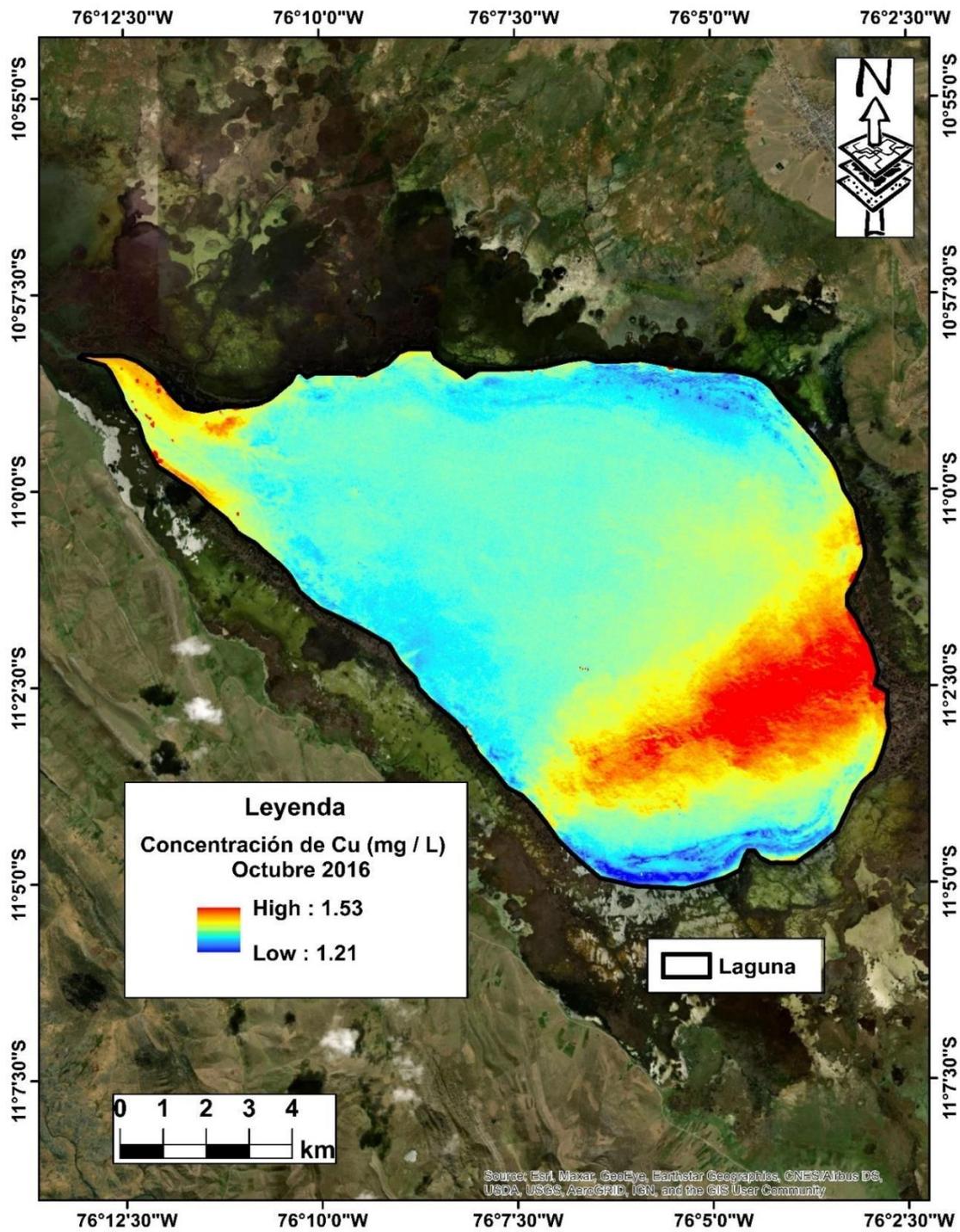


Nota: En su máxima concentración, el Cu llegó a abarcar el 24% del área del lago Junín, en el año 2016.

Tanto la concentración como la distribución del Cu, obedece al ingreso directo de relaves mineros provenientes de las explotaciones mineras cercanas. En el siguiente mapa de la serie 2016 B, se observa los cambios multitemporales en la distribución espacial del Cu en las aguas del lago Junín (Figura 48). En este caso el área de distribución del Cu de 1.53 mg/L alcanzó los 178000Km².

Figura 48

Series multitemporales y variaciones espaciales del Cu, OCT2016



Nota: El Cu llegó a contaminar un tercio del lago Junín, por lo que se deduce el incremento de descargas de relaves mineros por esos días.

5.1.3. Concentración y distribución del plomo (Pb) Comportamiento multiespectral

La cantidad de plomo estimado entre el año 2015 y 2020, en las aguas del lago Junín oscila en torno a 0.525mg/L. esta concentración excede en 0.522g/L, que establece la norma (LMP=0.0025). En la siguiente tabla se muestra los niveles de concentración del plomo en el lago Junín (Tabla 12).

Tabla 12

Niveles de concentración de Pb en el lago Junín

Año	Niveles de concentración del plomo (mg/L)		
	Época húmeda	Época seca	Media
2015	0.394	0.512	0.453
2016	0.387	0.644	0.516
2017	0.385	0.688	0.537
2018	0.382	0.699	0.541
2019	0.396	0.712	0.554
2020	0.393	0.71	0.552
Promedio	0.3895	0.660833333	0.525166667
Desviación estándar.	0.005612486	0.077025753	0.037920531

Nota: La tabla muestra concentraciones de Pb para temporada seca y para temporada húmeda, donde se observa diferencias notables

5.1.4. Distribución multitemporal

La distribución espacial del plomo como metal pesado en las aguas del lago Junín, tiene un comportamiento aleatorio. Se distribuye en altas concentraciones en áreas adyacentes a zonas litorales, principalmente en el lado Norte del lago Junín, que

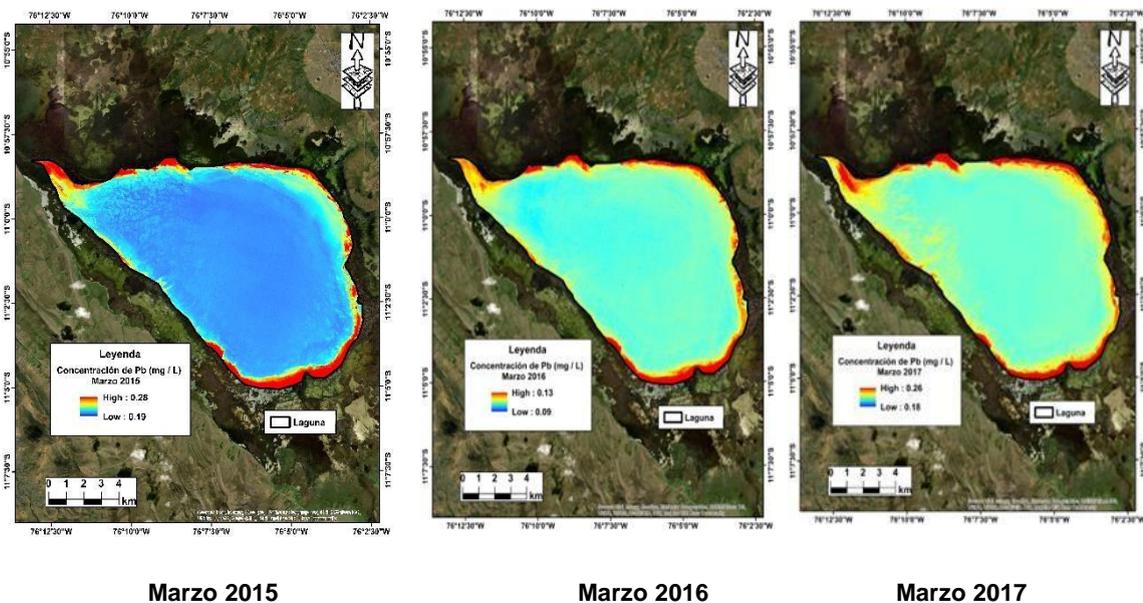
es la parte más degradada por los relaves mineros.

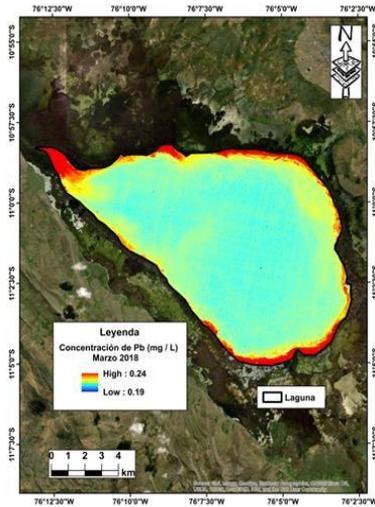
La distribución espacial del Pb varía entre los meses que corresponde a la estación lluviosa y los meses de estación seca. Se observa altas concentraciones durante los meses de sequía, debido a la ausencia de las precipitaciones y a la fuerte insolación que genera mayor pérdida de agua por evaporación y la consiguiente decantación de minerales pesados.

En las siguientes figuras se observan la concentración y distribución espacial del Pb, durante el mes de marzo, que coincide con una época lluviosa (Figura 49). En marzo del 2016, el lago Junín presentó bajas concentraciones de Pb alrededor de 8.25% de su extensión total.

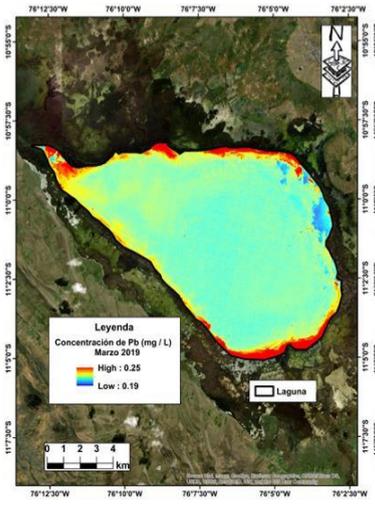
Figura 49

Distribución y concentración del Pb en época lluviosa

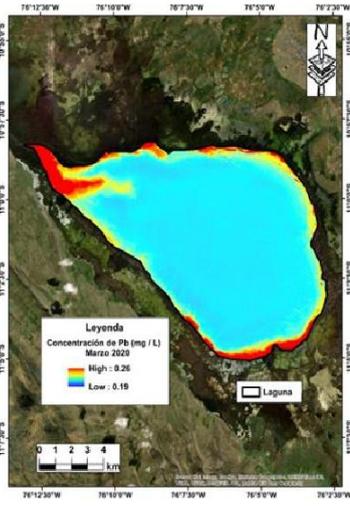




Marzo 2018



Marzo 2019



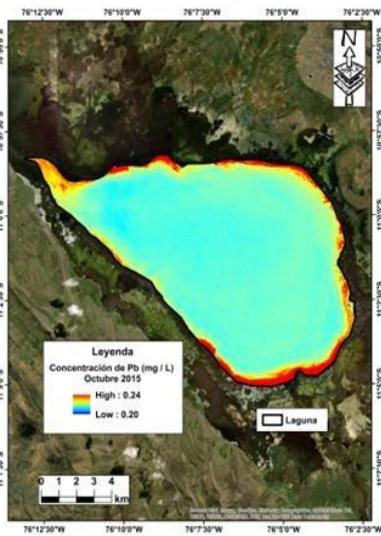
Marzo 2020

Nota: En las imágenes se muestran las 6 series temporales de la distribución y concentración del Pb durante los meses lluviosos.

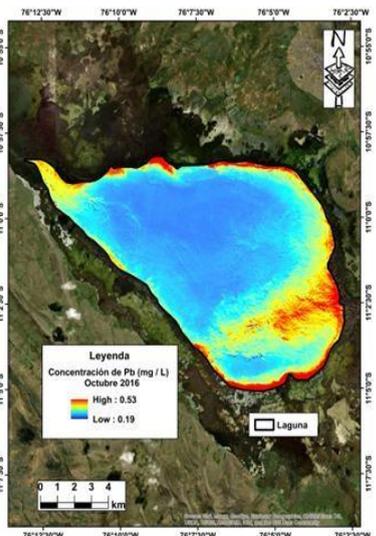
Durante los meses de estación seca los niveles de concentración y distribución del Pb aumenta notablemente, tal como se observa en la siguiente figura (Figura 50). En octubre del 2016, se observa alta concentración de Pb en el lado su-oriental del lago Junín.

Figura 50

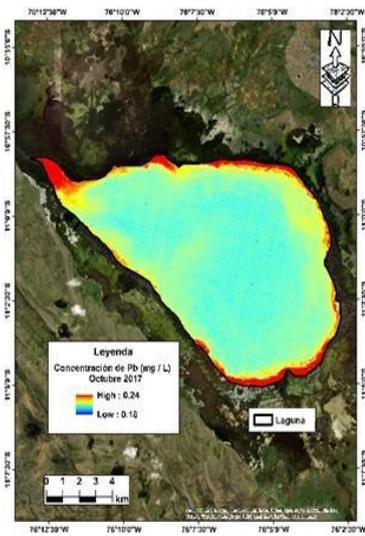
Distribución y concentración del Pb en época de sequía



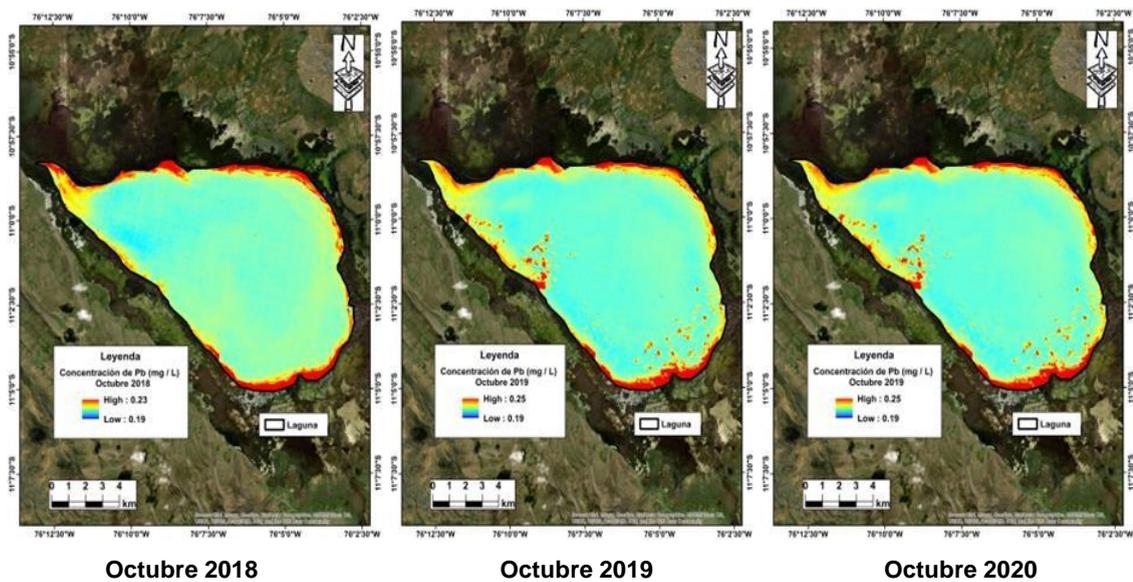
Octubre 2015



Octubre 2016



Octubre 2017



Nota: En las imágenes se muestran las 6 series temporales de la distribución y concentración del Pb durante los meses de estación seca.

La distribución del Pb al igual que el Cu, tiene un comportamiento aleatorio que tiene relación directa con el grado de explotación minera. En el cuadro 13, la mayor concentración de Pb se dio en la serie 2016 B que corresponde al mes de octubre (estación de sequía), la misma que se observa en la siguiente tabla.

Tabla 13*Distribución multitemporal del Pb según las series correspondientes*

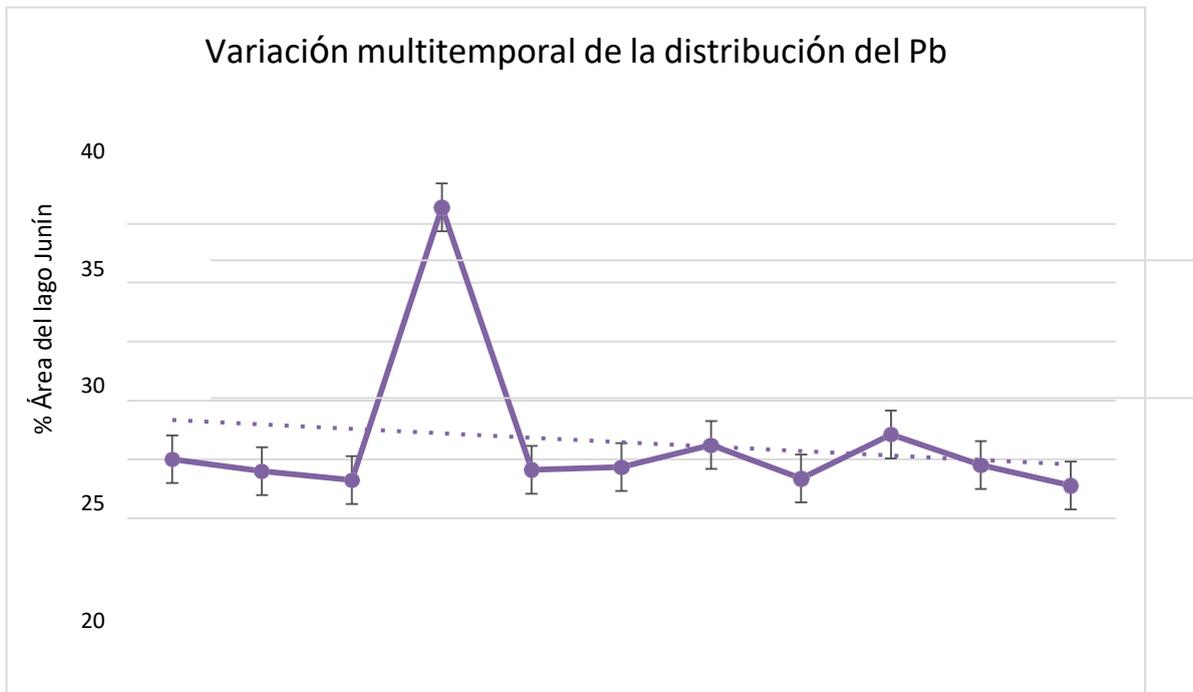
Series	Distribución multitemporal del Pb Área lago Junín = 529.426Km2)	
	Área (m2)	Área (%)
2015 A	53048.49	10.02
2015 B	47701.28	9.01
2016 A	43677.65	8.25
2016 B	166239.76	31.40
2017 A	48283.65	9.12
2017 B	49501.33	9.35
2018 A	59454.54	11.23
2018 B	44312.96	8.37
2019 A	64219.37	12.13
2019 B	50401.36	9.52
2020 A	41242.29	7.79

Nota: En su máxima concentración, el Pb llegó a abarcar el 31% del área del lago Junín, en el año 2016.

La siguiente figura (Figura 51) muestra la evolución en la distribución espacial del plomo. En octubre del 2016 se dio la máxima dispersión del zinc sobre las aguas de lago Junín, abarcando el 31.40% de su área total.

Figura 51

Variación multitemporal de la distribución del Pb



Nota: Según la gráfica en el año 2016 ocurrió la mayor concentración de Pb en el lago Junín, aunque los últimos años esa tendencia disminuyó.

En el mes de marzo del 2020 (Serie 2020A), que es una temporada de lluvias, la dispersión espacial del Pb en altas concentraciones abarcó solo el 7.79% del área del lago Junín, por lo que se deduce una influencia importante de las condiciones climáticas (Figura 52).

Figura 52

Distribución del Pb para todas las series multitemporales

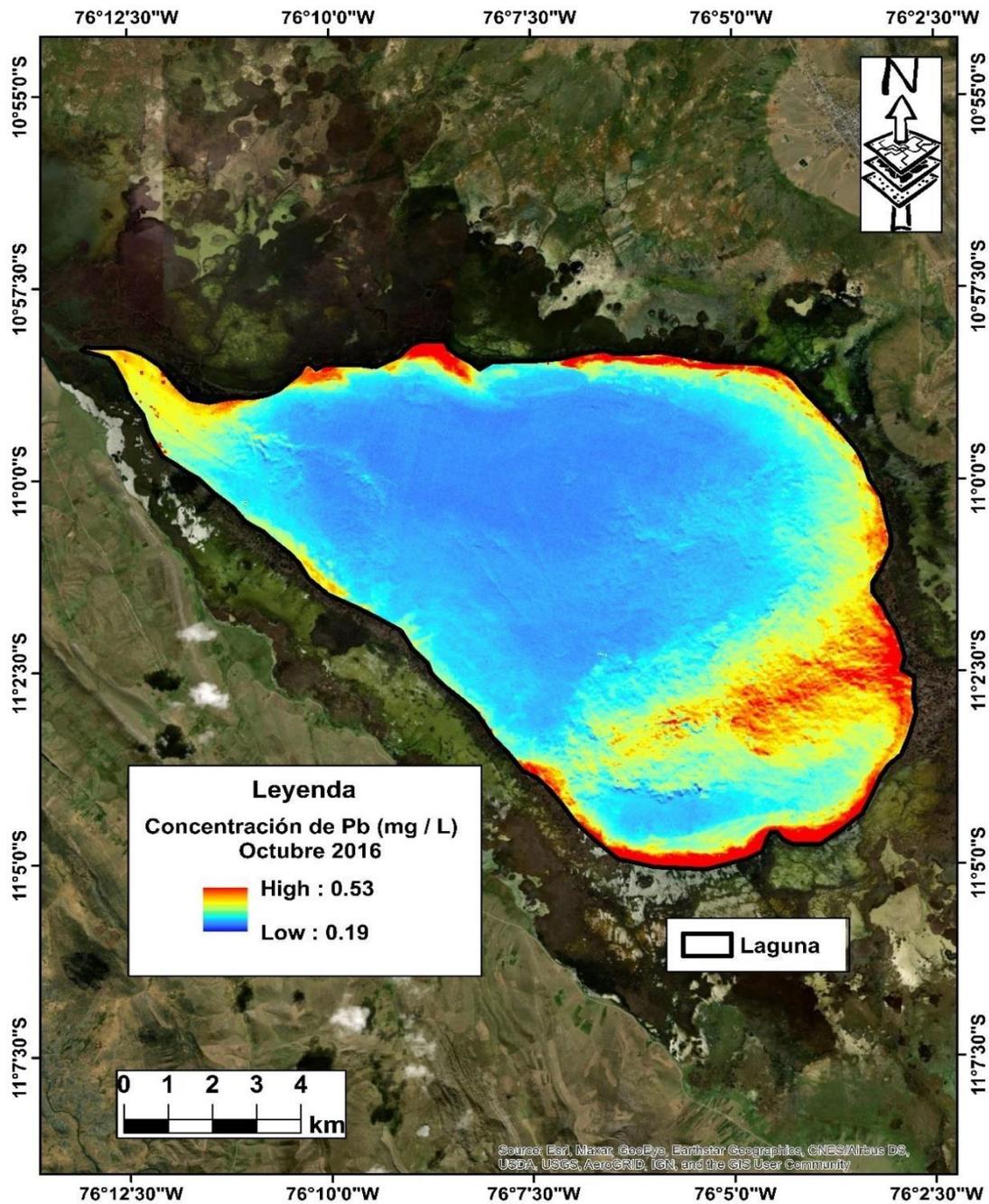


Nota: En su máxima concentración, el Pb llegó a abarcar el 31% del área del lago Junín, en el año 2016.

El grado de concentración y la distribución del Pb obedece al ingreso directo de relaves mineros provenientes de las explotaciones mineras cercanas. En el siguiente mapa se observa los cambios multitemporales en la distribución espacial del Pb en las aguas del lago Junín (Figura 53). En octubre del año 2016, el área de distribución del Pb de 0.53 mg/L alcanzó los 166000Km²

Figura 53

Series multitemporales y variaciones espaciales del Pb



Nota: El Pb llevo contaminar un tercio del lago Juni, por lo que se deduce el incremento de descargas de relaves mineros por esos días.

5.1.5. Concentración y distribución del zinc (Zn)

Comportamiento multiespectral

La cantidad de zinc estimado entre el año 2015 y 2020, en las aguas del lago Junín se encuentra alrededor de 0.337mg/L. Esta concentración excede en 0.217mg/L, lo que establece la norma (LMP = 0.120mg/L). En la siguiente tabla se muestra los niveles de concentración del zinc en el lago Junín (Tabla 14)

Tabla 14

Niveles de concentración de Zn en el lago Junín

Año	Niveles de concentración del zinc (mg/L)		
	Época húmeda	Época seca	Media
2015	0.277	0.4	0.3385
2016	0.266	0.387	0.3265
2017	0.279	0.412	0.3455
2018	0.285	0.386	0.3355
2019	0.288	0.429	0.3585
2020	0.275	0.358	0.3165
Promedio	0.2783333	0.3953333	0.3368333
Desviación estándar	0.0077888	0.0244267	0.0146241

Nota: La tabla muestra concentraciones de Zn para temporada seca y para temporada húmeda, donde se observa diferencias notables.

5.1.6. Distribución multitemporal

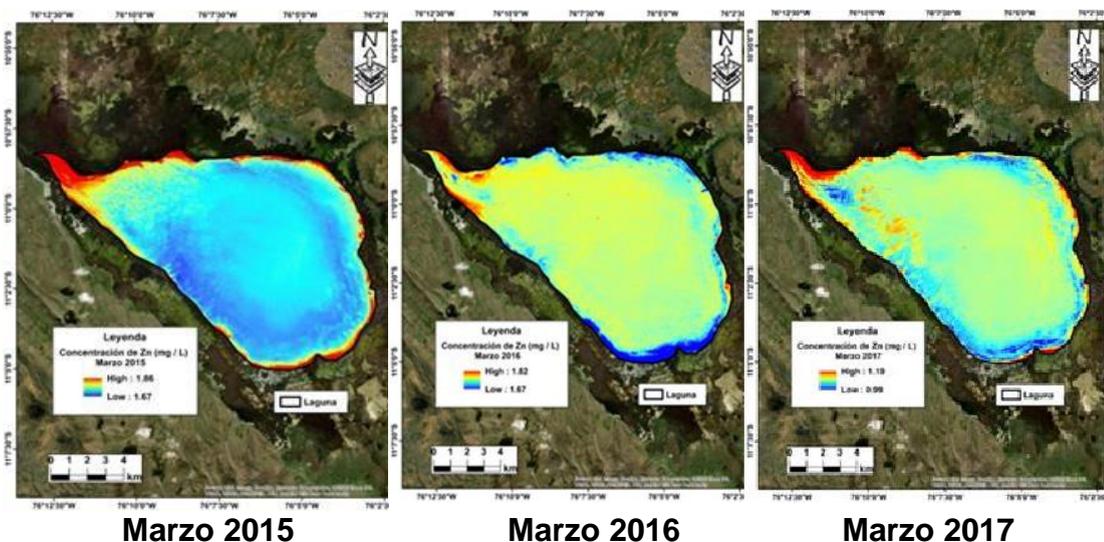
La distribución espacial del zinc al igual que el Pb y el Cu, tiene un comportamiento aleatorio. Se distribuye en altas concentraciones en áreas adyacentes a zonas litorales, principalmente en el lado Norte del lago Junín, que es la parte más expuesta directamente a los relaves mineros.

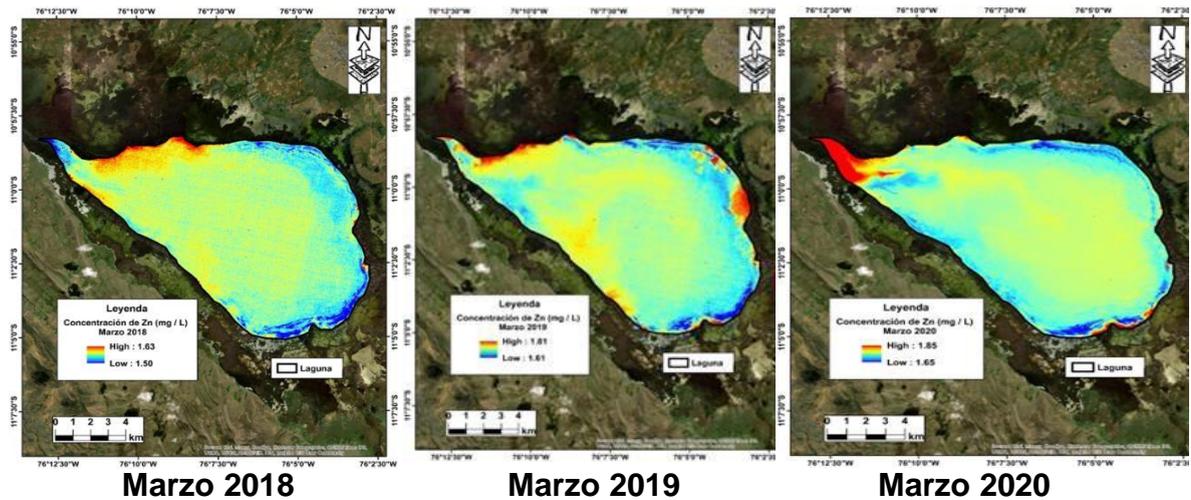
La distribución espacial del Zn varía entre los meses que corresponde a la estación lluviosa y los meses de estación seca. Se observa altas concentraciones tanto durante los meses de sequía como en los meses lluviosos. No obstante, abarca pequeñas extensiones del lago. Se concentra principalmente en la zona litoral Norte del lago.

En las siguientes figuras se observan la concentración y distribución espacial del Zn, durante los meses lluviosos (mes de marzo). En marzo del 2017, el lago Junín presentó máxima distribución espacial de Zn abarcando el 10.23% de la extensión total del lago Junín (Figura 54).

Figura 54

Distribución y concentración del Zn en época lluviosa



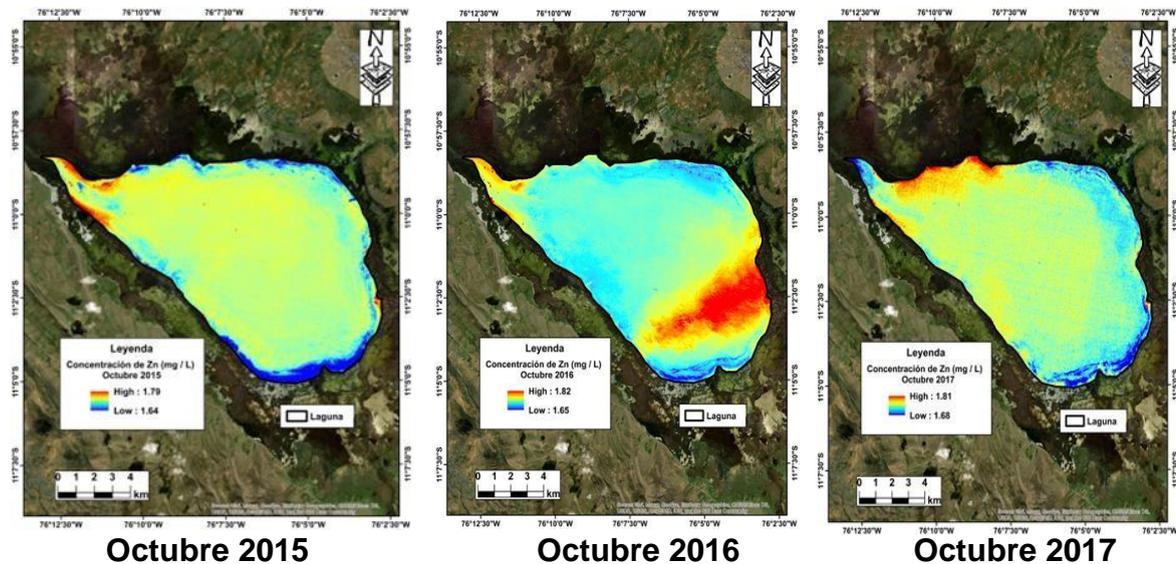


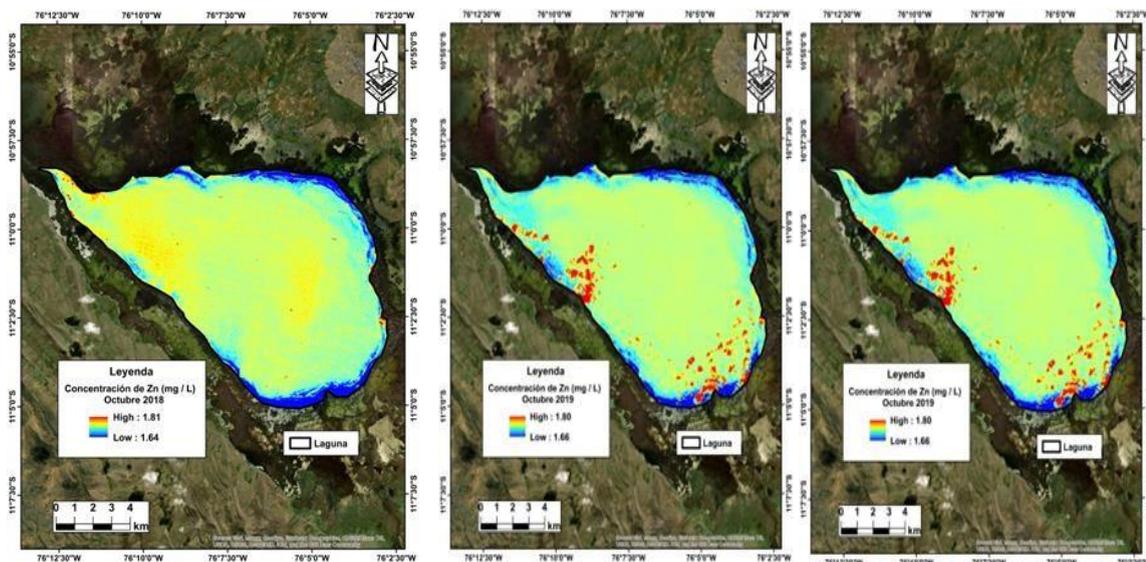
Nota: En las imágenes se muestran las 6 series temporales de la distribución y concentración del Zn durante los meses lluviosos.

Durante los meses de estación seca los niveles de concentración y distribución del Zn se incrementa ligeramente, tal como se observa en la siguiente figura (Figura 55). En octubre del 2016, se observa amplia distribución de Zn en el lado sub-oriental del lago Junín, que llega cubrir el 27.94% del área total del lago.

Figura 55

Distribución y concentración del Zn en época de sequía





Octubre 2018

Octubre 2019

Octubre 2020

Nota: En las imágenes se muestran las 6 series temporales de la distribución y concentración del Zn durante los meses de estación seca.

La distribución espacial del Zn en el lago depende del grado de explotación minera. Según el Tabla 15, la mayor concentración de Zn se dio en la serie 2016 B que corresponde al mes de octubre (estación de sequía).

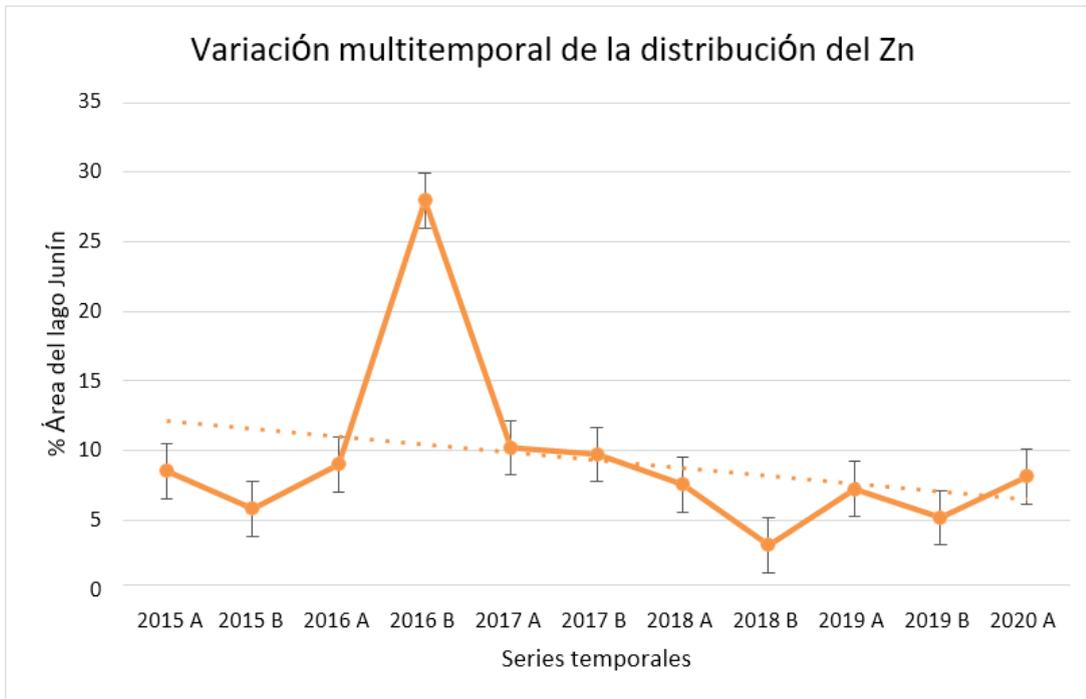
Tabla 15*Distribución multitemporal del Zn según las series correspondientes*

Series	Distribución multitemporal del Zn (Área lago Junín = 529.426Km ²)	
	Área (m ²)	Área (%)
2015 A	45265.92	8.55
2015 B	30971.42	5.85
2016 A	47701.28	9.01
2016 B	147921.62	27.94
2017 A	54160.28	10.23
2017 B	51619.04	9.75
2018 A	40130.49	7.58
2018 B	17100.46	3.23
2019 A	38383.39	7.25
2019 B	27583.09	5.21
2020 A	43095.28	8.14

Nota: La tabla muestra la variación porcentual del área contaminada por el Zn durante las 11 series temporales.

La siguiente figura (Figura 56) muestra la evolución en la distribución espacial del zinc. En octubre del 2016 se dio la máxima dispersión del zinc sobre las aguas de lago Junín, abarcando el 27.94% de su área total.

Figura 56 Variación multitemporal de la distribución del Zn



Nota: Según la gráfica en el año 2016 ocurrió la mayor concentración de Zn en el lago Junín, aunque los últimos años esa tendencia disminuyó

En el mes de octubre del 2018 (Serie 2018B), que corresponde a una temporada seca, las concentraciones altas del Zn abarco solo el 3.23% del área del lago Junín, por lo que se deduce que por esos esos días disminuyo la intensidad de la actividad minera (Figura 57).

Figura 57 Distribución del Zn para todas las series multitemporales

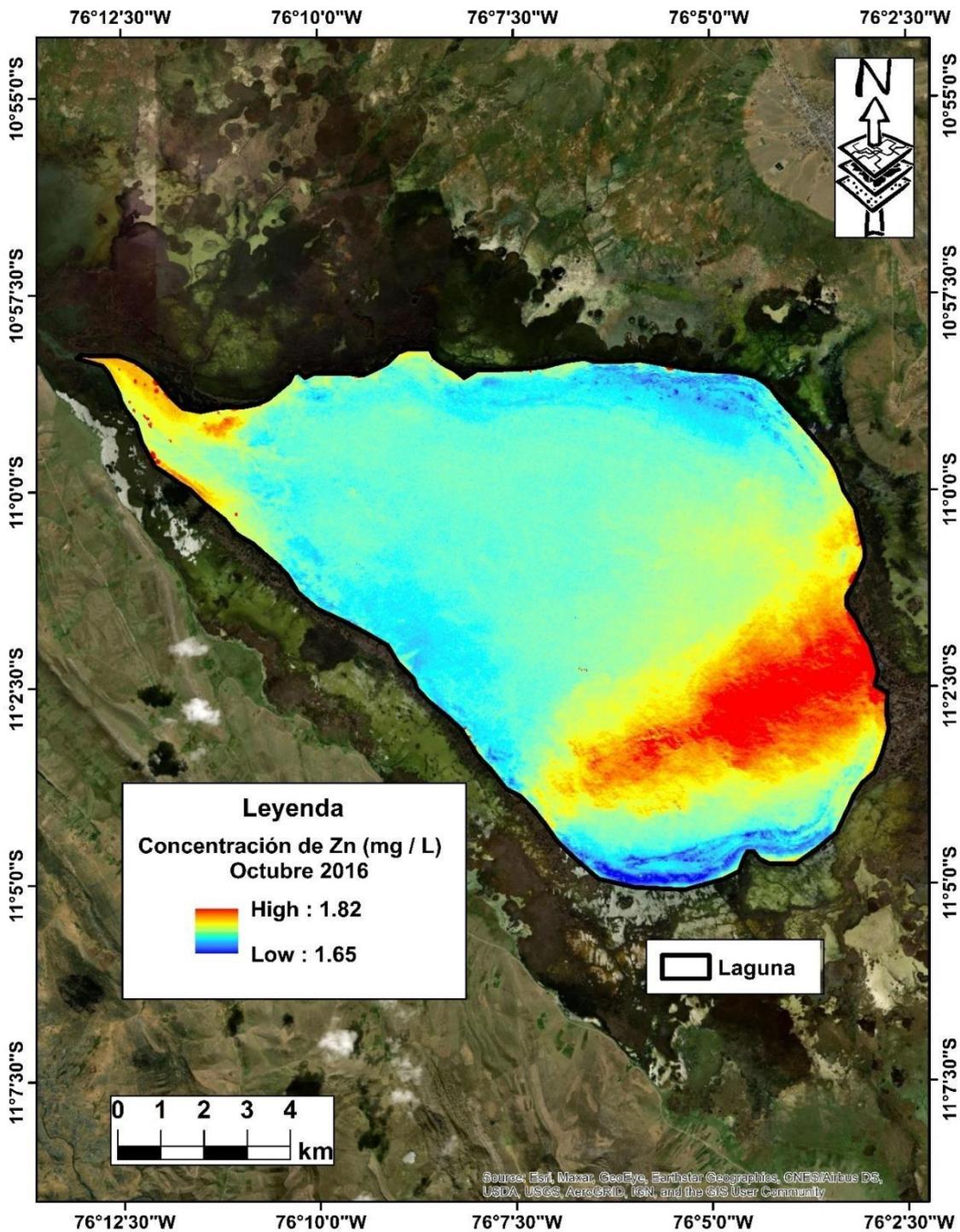


Nota: El Zn llegó a contaminar el 28% del lago Junín, por lo que se deduce el incremento de descargas de relaves mineros por esos días.

El grado de concentración y la distribución del Zn tiene que ver directamente con la intensidad de las actividades mineras. En el siguiente mapa se observa los cambios multitemporales en la distribución espacial del Zn en las aguas del lago Junín, en el periodo 2015 -2020 (Figura 58). En octubre del año 2016, el área de distribución del Zn de 1.82 mg/L alcanzó los 148000Km².

Figura 58

Series multitemporales y variaciones espaciales del Zn



Nota: Según la imagen el Zn llegó a contaminar casi un tercio del lago Junín, cubriendo gran parte del lado NW del lago.

5.1.7. Prueba de laboratorio

Mediciones en campo

Con el objetivo de contrastar los valores obtenidos mediante la teledetección, se realizaron muestreo del agua del lago Junín, el 9 y 10 de octubre del 2021. Se eligieron tres puntos de control, distribuidas en la zona norte del lago, en los alrededores de la Comunidad de San Pedro de Pari, donde se tomaron las tres (03) muestras (Tabla 16).

Tabla 16

Puntos de control y muestreo en el lago Junín

Fecha y hora	COORDENADAS UTM	
	X	Y
09/10/2021 13:33	8787724.3	365700.6
09/10/2021 13:38	8787724.3	365700.6
09/10/2021 14:19	8792474.2	362153.1

Nota: Se eligieron tres puntos de muestreo en el intervalo de 50 minutos y en la misma fecha que corresponde a 9 de octubre del 2021.

Para la toma de muestras con contenidos de Cu, Pb y Zn, se siguieron los protocolos que establece la Guía para muestreo de agua en el marco del D.S. N° 004-2017-MINAM.

Análisis de laboratorio

El análisis de las muestras en laboratorio demostró alta concentración de metales pesados en las aguas del lago Junín en el sector muestreado. Los resultados demostraron una semejanza en la distribución de valores entre el monitoreo in situ y la simulación numérica por Algoritmo Genético, para los tres tipos de metales analizados en mg/L, tal como se verifica en los siguientes cuadros (Tablas 17, 18, 19).

Tabla 17

Comparativo de la M1

Comparativa M1			
X: 8787724.3 / Y: 365700.6			
	Análisis multiespectral	Análisis laboratorio	Diferencia
Plomo	0.22	0.233	0.013
Cobre	0.195	0.179	-0.016
Zinc	1.25	0.908	-0.342

Nota: La tabla muestra los datos por muestreo directo en M1 y muestreo espectral del mismo momento, donde se observa una similitud de resultados, con una diferencia de +/-0.013 para el Pb.

Tabla 18*Comparativo de la M2*

Comparativa M2			
X: 8787724.3 / Y: 365700.6			
	Análisis multiespectral	Análisis laboratorio	Diferencia
Plomo	0.098	0.133	0.035
Cobre	0.087	0.101	0.014
Zinc	0.784	0.694	-0.09

Nota: La tabla muestra los datos por muestreo directo en M2 y muestreo espectral del mismo momento, donde se observa una similitud de resultados y diferencia de +/- 0.014 para el Cu.

Tabla 19*Comparativo de la M3*

Comparativa M3			
X: 8787724.3 / Y: 365700.6			
	Análisis multiespectral	Análisis laboratorio	Diferencia
Plomo	0.618	0.591	-0.027
Cobre	0.344	0.376	0.032
Zinc	1.198	1.384	0.186

Nota: La tabla muestra los datos por muestreo directo en M2 y muestreo espectral del mismo momento, donde se observa una similitud de resultados y diferencia de +/- 0.186 para el Zn.

La diferencia media de valores entre el muestreo espectral y el muestreo directo es de (-) 0.022. Se observa una alta similitud en los resultados (Tabla 20).

Tabla 20

Valores comparativos entre muestreados y análisis espectral

	Valores comparativos		
	Análisis multiespectral	Análisis Laboratorio	Diferencia
Plomo	0.312	0.319	0.007
Cobre	0.209	0.219	0.010
Zinc	1.077	0.995	-0.082
Promedio	0.533	0.511	-0.022

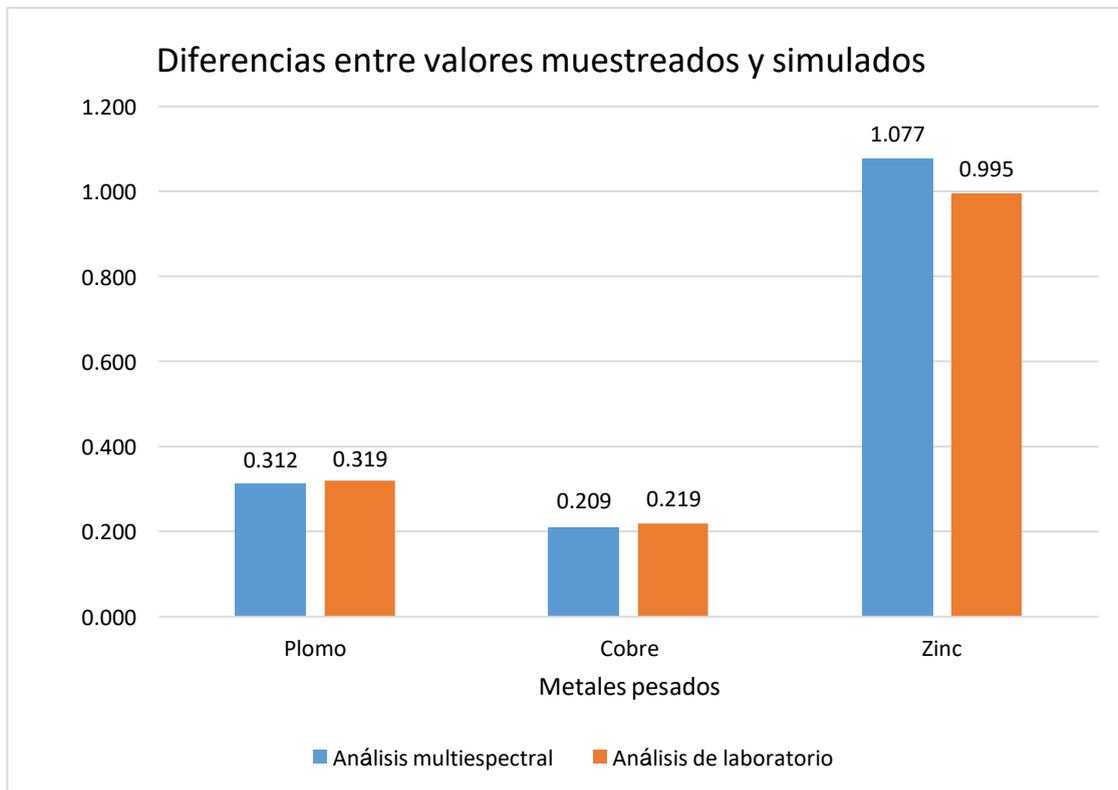
Nota: Existe una similitud de hasta 96% entre los resultados del muestreo espectral y el muestreo directo, lo que demuestra la alta confiabilidad de las técnicas de teledetección para la evaluación ambiental.

La diferencia media de (-) 0.022, demuestra la eficacia de la técnica de la teledetección hasta en un 96%, para el estudio de la contaminación de las aguas por metales pesados en grandes extensiones, como es el caso del lago Junín.

En la siguiente figura (Figura 59), se muestra el alto grado de semejanza entre los valores de laboratorio y el análisis multiespectral.

Figura 59

Valores comparativos entre muestreados y análisis espectral



Nota: En la figura se observa la similitud elocuente de los resultados del muestreo directo con los resultados del muestreo espectral.

Del análisis de la figura anterior, se observa pequeñas diferencias en las concentraciones de los tres metales, no hay diferencias significativas. El rango en que varían es de 5-8% para el Cobre, 8-12% para el Zinc y 7-12% para el plomo, a pesar de que las tomas de muestras se realizaron en una fecha diferente a la imagen satelital descargada.

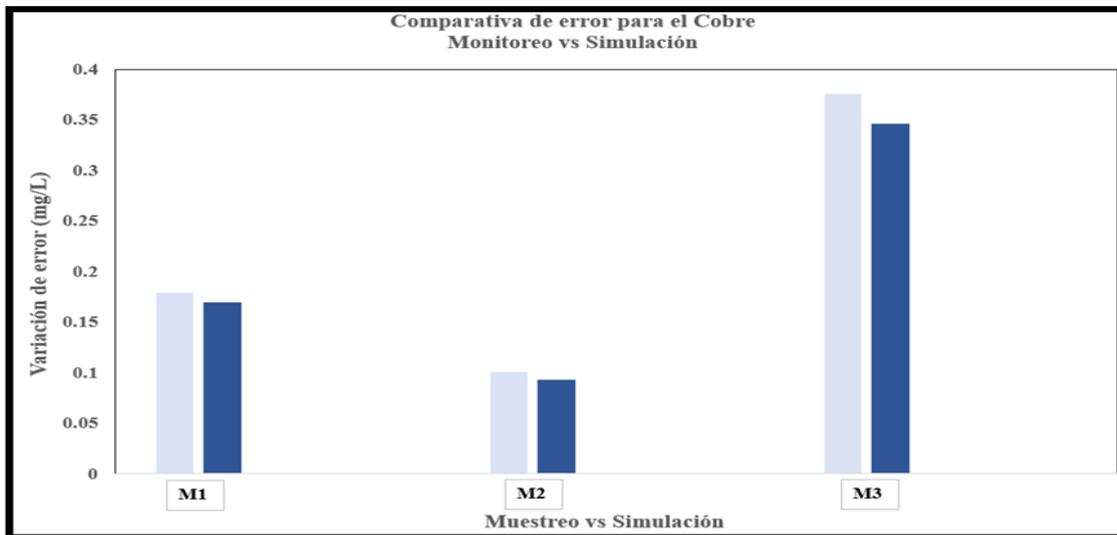
Definitivamente la técnica del análisis multiespectral resulta una técnica de alta eficacia en la precisión para hacer evaluaciones ambientales con la ventaja de abarcar mayor cobertura de área sobre la superficie terrestre. La eficacia se aproxima a 96% respecto al análisis muestral insitu.

En las siguientes figuras, tras un procesamiento geoespacial de la información espectral y datos de laboratorio, se observa que el coeficiente de Nash-Sutcliffe (NSE) y el índice de acuerdo (Index of agreement) presenta valores positivos y negativos. Los positivos indican que hay una buena relación entre los puntos modelados y los puntos medidos en campo; mientras que, los valores negativos indican que las muestras in situ son mejores estimadores de las concentraciones de metales pesados. Adicionalmente también se realizó la correlación RSR de ajuste, resultando valores próximos a cero.

Estos valores estadísticos, a primera instancia, reflejan una alta correlación entre los valores en campo y los valores simulados (análisis multiespectral) para la valoración cuantitativa de los tres elementos químicos pesados: Cu, Pb, Zn (Figura 60, 61, 62).

Figura 60

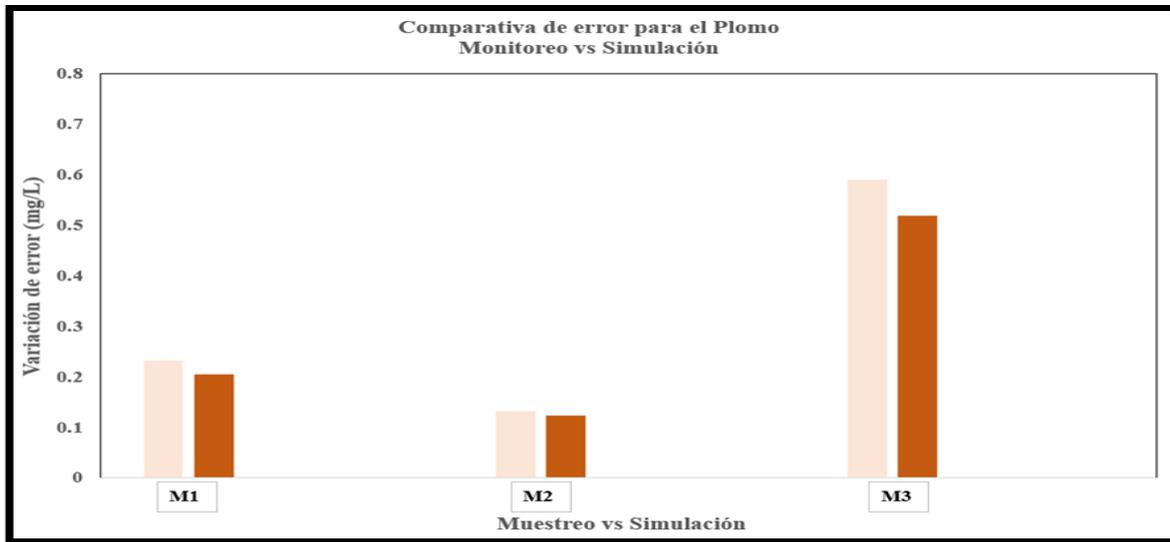
Comparativa de error para Cu



Nota: El comparativo de error para Cu oscila entre 5 a 8 % puede ser un valor positivo o negativo, es simplemente una diferencia.

Figura 61

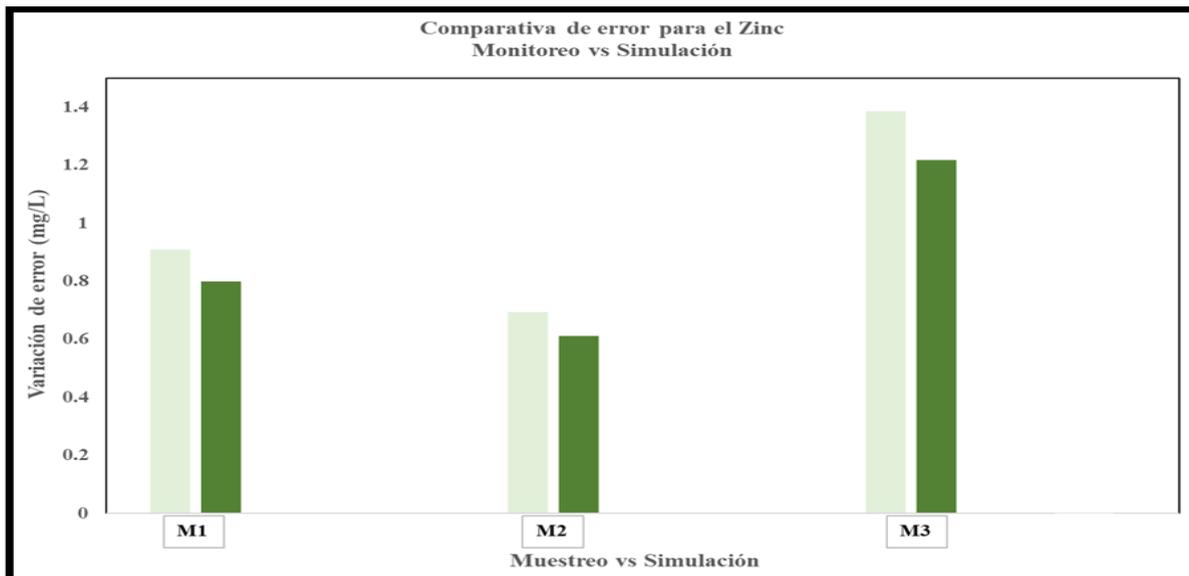
Comparativa de error para Pb



Nota: El comparativo de error para Pb oscila entre 7 a 12% puede ser un valor positivo o negativo, es simplemente una diferencia.

Figura 62

Comparativa de error para Zn



Nota: El comparativo de error para Zn oscila entre 8 a 12% puede ser un valor positivo o negativo, es simplemente una diferencia.

5.1.8. Valoración multidimensional de los impactos

Para la valoración multidimensional de los impactos que ocasionan los metales pesados en el lago Junín, se elaboró una serie de ítems, las mismas que fueron evaluadas mediante encuestas en campo y la escala de Likert.

Se trabajó directamente con 50 personas, todos ellos con amplio criterio y conocimiento competente sobre la zona de estudio, quienes fueron contactados en pequeños grupos y de manera espontánea los días 9 y 10 de octubre del 2021, cuando se hizo el trabajo de campo. Luego tras una explicación competente sobre el significado y la ponderación de cada uno de los ítems, relacionados con la situación problemática del lago Junín, hicieron su calificación individualizada, obteniéndose resultados muy consistentes con la realidad.

Las 50 personas contactadas corresponden a las siguientes comunidades y/o centros urbanos (Tabla 21).

Tabla 21

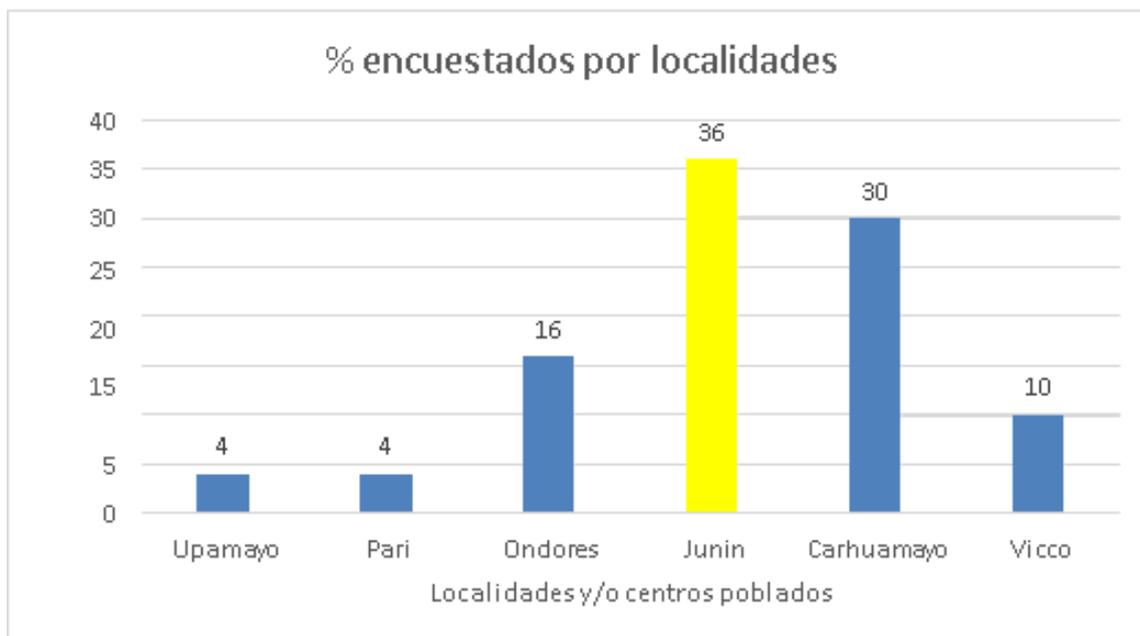
Centros poblados encuestados

Id	Localidad	Nº encuestados
1	Upamayo	2
2	Pari	2
3	Ondores	8
4	Junín	18
5	Carhuamayo	15
6	Vicco	5
	Total	50

Nota: Según la tabla en total se llegó encuestar a 50 personas, lo que representa la población muestra.

Junín y Carhuamayo son los centros urbanos más poblados en la cuenca del lago Junín y donde se hicieron mayor número de encuestas personalizadas (Figura 63)

Figura 63 Centros poblados encuestados



Nota: Según la figura en la ciudad de Junín es donde se contactó con mayor número de personas.

Para la evaluación multidimensional de los impactos, se diseñó 10 ítems: Cinco ítems para conocer la magnitud del impacto y los otros cinco para cuantificar la frecuencia del impacto, los mismos que fueron evaluados por 50 personas mediante una hoja de cuestionarios.

Este cuestionario presenta preguntas que hacen referencia a cómo percibes el grado de impacto de los metales pesados, así como su frecuencia de ocurrencia afectando la calidad ambiental, la calidad paisajística y la riqueza biológica del lago Junín.

5.1.9. Valoración de la magnitud del impacto

El análisis de la magnitud del impacto se hizo en base al siguiente cuadro de ítems (Tabla 22)

Tabla 22

Ítems de preguntas para evaluar la magnitud del impacto

Id	Interrogaciones	0 NO AFECTA	1 AFECTA LEVEMENTE	2 AFECTA MODERADAMENTE	3 AFECTA SEVERAMENTE
P1	¿En qué medida el Zn afecta la calidad del agua del lago Junín?				
P2	¿En qué medida el Zn afecta la calidad visual del paisaje del lago Junín?				
P3	¿En qué medida el Zn afecta la calidad escénica del paisaje del lago Junín?				
P4	¿En qué medida el Zn afecta la flora acuática del lago Junín?				
P5	¿En qué medida el Zn afecta la fauna acuática del lago				

Nota: Para responder, los encuestados escogieron y marcaron con una "X" una de las alternativas de respuesta, teniendo en cuenta que cada número significa lo siguiente:

0 NO AFECTA	1 AFECTA LEVEMENTE	2 AFECTA MODERADAMENTE	3 AFECTA SEVERAMENTE
----------------	--------------------------	------------------------------	----------------------------

El objetivo de este cuestionario permitió conocer mejor la magnitud de la problemática del impacto ambiental, relacionado con los metales pesados que afectan la calidad ambiental y paisajística del lago Junín.

En las siguientes tablas (Tablas 23, 24, 25), se muestran los resultados obtenidos mediante encuestas, en relación a la calificación de los impactos de los tres metales pesados sobre los 5 ítems que corresponde a la valoración multidimensional del lago Junín.

Tabla 23

Magnitud del impacto del Cu según percepción de la población

VALORACION MULTIDIMENSIONAL DEL IMPACTO DEL COBRE (Cu)											
ID	Encuestados	Calidad ambiental		Calidad paisajística			Riqueza biológica			Grado de influencia (%)	
		Calidad del agua		Calidad visual	Calidad escénica		Flo ra	Fau na	D3V 2	TOT V1-V2	%V1-V2
		P1	D1V2	P2	P3	D2 V2	P4	P5			
1	E1	3	3	2	3	5	1	0	1	9	60.00
2	E2	2	2	3	1	4	3	3	6	12	80.00
3	E3	3	3	1	3	4	3	2	5	12	80.00
4	E4	3	3	2	3	5	2	3	5	13	86.67
5	E5	0	0	3	1	4	3	3	6	10	66.67
6	E6	3	3	3	3	6	1	1	2	11	73.33
7	E7	3	3	1	3	4	2	0	2	9	60.00
8	E8	3	3	3	1	4	3	3	6	13	86.67
9	E9	2	2	3	3	6	3	1	4	12	80.00
10	E10	3	3	1	3	4	3	3	6	13	86.67
11	E11	3	3	0	2	2	3	3	6	11	73.33
12	E12	3	3	3	3	6	2	3	5	14	93.33
13	E13	1	1	3	0	3	3	3	6	10	66.67
14	E14	3	3	3	3	6	3	3	6	15	100.00
15	E15	3	3	3	3	6	1	3	4	13	86.67
16	E16	3	3	3	3	6	3	3	6	15	100.00
17	E17	0	0	3	3	6	3	3	6	12	80.00
18	E18	3	3	3	3	6	0	2	2	11	73.33
19	E19	3	3	2	3	5	1	3	4	12	80.00

20	E20	2	2	3	1	4	3	1	4	10	66.67
21	E21	1	1	3	3	6	3	3	6	13	86.67
22	E22	3	3	3	3	6	3	3	6	15	100.00
23	E23	3	3	3	0	3	3	3	6	12	80.00
24	E24	1	1	3	1	4	3	3	6	11	73.33
25	E25	3	3	3	3	6	3	3	6	15	100.00
26	E26	3	3	3	3	6	2	3	5	14	93.33
27	E27	3	3	3	3	6	1	2	3	12	80.00
28	E28	3	3	3	3	6	0	3	3	12	80.00
29	E29	3	3	3	3	6	1	3	4	13	86.67
30	E30	2	2	3	3	6	2	2	4	12	80.00
31	E31	3	3	3	3	6	3	3	6	15	100.00
32	E32	3	3	2	1	3	3	3	6	12	80.00
33	E33	3	3	3	3	6	3	3	6	15	100.00
34	E34	1	1	3	2	5	3	3	6	12	80.00
35	E35	3	3	1	3	4	1	3	4	11	73.33
36	E36	2	2	3	1	4	2	3	5	11	73.33
37	E37	3	3	2	3	5	3	3	6	14	93.33
38	E38	3	3	3	3	6	1	3	4	13	86.67
39	E39	1	1	0	1	1	2	3	5	7	46.67
40	E40	3	3	3	3	6	3	2	5	14	93.33
41	E41	3	3	2	2	4	3	3	6	13	86.67
42	E42	3	3	3	3	6	2	1	3	12	80.00
43	E43	1	1	3	3	6	3	3	6	13	86.67
44	E44	2	2	3	1	4	3	2	5	11	73.33
45	E45	3	3	3	3	6	1	3	4	13	86.67
46	E46	1	1	3	2	5	3	3	6	12	80.00
47	E47	3	3	0	1	1	3	3	6	10	66.67
48	E48	0	0	2	3	5	2	0	2	7	46.67
49	E49	3	3	1	0	1	3	3	6	10	66.67
50	E50	2	2	3	3	6	1	2	3	11	73.33
	TOTAL	120	120	124	117	241	115	126	241	602	80.27

Nota: la tabla muestra la calificación de las 50 personas encuestadas, sobre la valoración multidimensional de los impactos sobre el lago Junín. La calificación indica alta valoración de la magnitud del impacto del cobre (80%).

En la tabla anterior, según la percepción de la población, el grado de influencia del impacto del Cu sobre los componentes del lago Junín es del 80.27%, lo que demuestra una magnitud de impacto muy ALTO.

Respecto a la valoración del impacto que ocasiona el Pb sobre las tres dimensiones: Calidad ambiental, calidad paisajística y riqueza biológica, se tiene el siguiente resultado (Tabla 24)

Tabla 24

Magnitud del impacto del Pb según percepción de la población

VALORACION MULTIDIMENSIONAL DEL IMPACTO DEL PLOMO (Pb)												
ID	Encuestados	Calidad ambiental		Calidad paisajística			Riqueza biológica			Grado de influencia (%)		
		Calidad del agua		Calidad visual	Calidad escénica		Flo ra	Fau na	D3V 2	TOT V1- V2	%V1-V2	
		P1	D1V2	P2	P3	D2V2	P4	P5				
1	E1	1	1	1	3	4	3	1	4	9	60.00	
2	E2	3	3	0	2	2	3	3	6	11	73.33	
3	E3	3	3	3	3	6	1	3	4	13	86.67	
4	E4	2	2	3	0	3	3	1	4	9	60.00	
5	E5	3	3	3	3	6	3	3	6	15	100.00	
6	E6	1	1	3	3	6	1	3	4	11	73.33	
7	E7	2	2	1	3	4	0	2	2	8	53.33	
8	E8	3	3	3	3	6	3	3	6	15	100.00	
9	E9	3	3	3	2	5	3	0	3	11	73.33	
10	E10	3	3	3	1	4	3	3	6	13	86.67	
11	E11	3	3	1	0	1	3	3	6	10	66.67	
12	E12	2	2	2	1	3	1	3	4	9	60.00	
13	E13	3	3	1	2	3	3	3	6	12	80.00	
14	E14	2	2	2	3	5	3	2	5	12	80.00	
15	E15	1	1	3	3	6	3	1	4	11	73.33	
16	E16	0	0	3	3	6	1	0	1	7	46.67	
17	E17	1	1	3	3	6	2	1	3	10	66.67	
18	E18	2	2	3	3	6	1	2	3	11	73.33	
19	E19	3	3	1	0	1	2	3	5	9	60.00	
20	E20	3	3	2	1	3	3	3	6	12	80.00	
21	E21	3	3	3	3	6	3	3	6	15	100.00	
22	E22	3	3	1	3	4	3	3	6	13	86.67	

23	E23	1	1	0	3	3	3	3	6	10	66.67
24	E24	2	2	1	3	4	1	0	1	7	46.67
25	E25	3	3	2	2	4	2	1	3	10	66.67
26	E26	1	1	3	3	6	3	3	6	13	86.67
27	E27	2	2	3	3	6	1	3	4	12	80.00
28	E28	3	3	3	3	6	0	3	3	12	80.00
29	E29	3	3	3	3	6	1	3	4	13	86.67
30	E30	2	2	1	3	4	2	2	4	10	66.67
31	E31	3	3	2	3	5	3	3	6	14	93.33
32	E32	1	1	3	1	4	3	3	6	11	73.33
33	E33	3	3	3	3	6	3	3	6	15	100.00
34	E34	3	3	1	2	3	3	3	6	12	80.00
35	E35	1	1	3	3	6	1	3	4	11	73.33
36	E36	3	3	3	3	6	2	3	5	14	93.33
37	E37	3	3	2	1	3	3	1	4	10	66.67
38	E38	1	1	3	3	6	3	3	6	13	86.67
39	E39	3	3	1	2	3	1	2	3	9	60.00
40	E40	3	3	0	1	1	3	3	6	10	66.67
41	E41	2	2	3	3	6	3	3	6	14	93.33
42	E42	3	3	3	3	6	2	1	3	12	80.00
43	E43	0	0	2	2	4	3	3	6	10	66.67
44	E44	2	2	3	3	6	1	2	3	11	73.33
45	E45	3	3	3	3	6	0	1	1	10	66.67
46	E46	1	1	1	2	3	3	3	6	10	66.67
47	E47	3	3	0	1	1	3	3	6	10	66.67
48	E48	0	0	2	1	3	2	2	4	7	46.67
49	E49	3	3	3	2	5	3	3	6	14	93.33
50	E50	2	2	3	3	6	3	3	6	14	93.33
	TOTAL	110	110	108	116	224	112	118	230	564	75.20

Nota: La tabla muestra la calificación de las 50 personas encuestadas sobre la valoración multidimensional de los impactos sobre el lago Junín. La calificación indica alta valoración de la magnitud del impacto del plomo (75%).

Según el cuadro anterior (Tabla 24), la percepción de la población en relación al impacto del plomo sobre los componentes del lago Junín es del 75.20%, lo que evidencia una influencia alta y por lo tanto un impacto ALTO.

En relación a la valoración del impacto que ocasiona el Zn sobre las tres dimensiones: Calidad ambiental, calidad paisajística y riqueza biológica, se tiene el siguiente resultado (Tabla 25)

Tabla 25

Magnitud del impacto del Zn según percepción de la población

VALORACION MULTIDIMENSIONAL DEL IMPACTO DEL ZINC (Zn)												
ID	Encuestados	Calidad ambiental		Calidad paisajística			Riqueza biológica			Grado de influencia (%)		
		Calidad del agua		Calidad visual	Calidad escénica		Flo ra	Fau na	D3V 2	TOT V1- V2	%V1-V2	
		P 1	D1 V2	P2	P3	D2V2	P4	P5				
1	E1		3	3	3	3	6	3	1	4	13	86.67
2	E2		3	3	3	3	6	3	3	6	15	100.00
3	E3		3	3	1	0	1	1	3	4	8	53.33
4	E4		3	3	2	1	3	3	1	4	10	66.67
5	E5		1	1	3	3	6	3	3	6	13	86.67
6	E6		3	3	1	3	4	1	3	4	11	73.33
7	E7		2	2	2	3	5	0	2	2	9	60.00
8	E8		3	3	3	3	6	3	3	6	15	100.00
9	E9		3	3	3	1	4	3	0	3	10	66.67
10	E10		1	1	2	3	5	3	3	6	12	80.00
11	E11		3	3	3	2	5	3	3	6	14	93.33
12	E12		2	2	2	3	5	1	3	4	11	73.33
13	E13		1	1	3	3	6	3	3	6	13	86.67
14	E14		3	3	3	1	4	3	2	5	12	80.00
15	E15		3	3	1	3	4	3	1	4	11	73.33
16	E16		2	2	2	2	4	1	0	1	7	46.67
17	E17		3	3	3	2	5	2	1	3	11	73.33
18	E18		3	3	3	3	6	1	2	3	12	80.00
19	E19		3	3	3	3	6	2	3	5	14	93.33
20	E20		3	3	3	3	6	3	3	6	15	100.00
21	E21		3	3	3	3	6	3	3	6	15	100.00
22	E22		3	3	3	3	6	3	3	6	15	100.00
23	E23		3	3	3	0	3	3	3	6	12	80.00
24	E24		1	1	1	1	2	1	0	1	4	26.67
25	E25		2	2	2	3	5	2	1	3	10	66.67
26	E26		3	3	3	3	6	3	3	6	15	100.00
27	E27		1	1	1	3	4	1	3	4	9	60.00
28	E28		2	2	2	3	5	0	3	3	10	66.67
29	E29		3	3	3	3	6	1	3	4	13	86.67

30	E30	3	3	3	3	6	2	2	4	13	86.67
31	E31	1	1	3	3	6	3	3	6	13	86.67
32	E32	3	3	2	1	3	3	3	6	12	80.00
33	E33	3	3	3	3	6	3	3	6	15	100.00
34	E34	3	3	3	2	5	3	3	6	14	93.33
35	E35	3	3	1	3	4	1	3	4	11	73.33
36	E36	3	3	3	3	6	2	3	5	14	93.33
37	E37	3	3	3	2	5	3	1	4	12	80.00
38	E38	3	3	3	1	4	3	3	6	13	86.67
39	E39	3	3	1	0	1	1	2	3	7	46.67
40	E40	3	3	2	1	3	3	3	6	12	80.00
41	E41	2	2	1	2	3	3	3	6	11	73.33
42	E42	1	1	2	3	5	2	1	3	9	60.00
43	E43	0	0	3	3	6	3	3	6	12	80.00
44	E44	1	1	3	3	6	1	2	3	10	66.67
45	E45	2	2	3	3	6	0	1	1	9	60.00
46	E46	1	1	3	3	6	3	3	6	13	86.67
47	E47	3	3	1	0	1	3	3	6	10	66.67
48	E48	0	0	2	1	3	2	2	4	7	46.67
49	E49	3	3	3	3	6	3	3	6	15	100.00
50	E50	3	3	3	2	5	2	1	3	11	73.33
TOTAL		119	119	121	115	236	111	116	227	582	77.60

Nota: La tabla muestra la calificación de las 50 personas encuestadas sobre la valoración multidimensional de los impactos sobre el lago Junín. La calificación indica alta valoración de la magnitud del impacto ocasionado por el zinc (78%).

En la siguiente tabla (Tabla 26), se presenta el consolidados de la magnitud de impacto de los tres metales pesados.

Tabla 26

Magnitud del impacto de los metales pesados

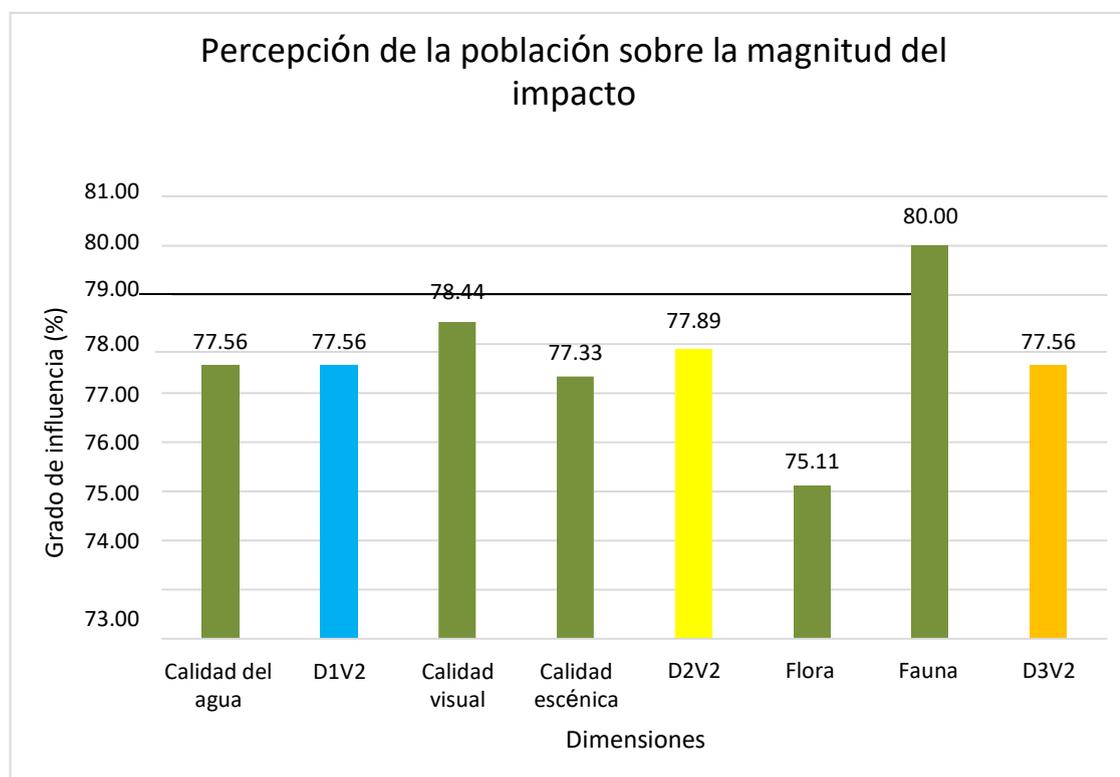
ANÁLISIS MULTIESPECTRAL Y MULTITEMPORAL DE LOS METALES PESADOS		VALORACION MULTIDIMENSIONAL DEL IMPACTO									
		Calidad ambiental		Calidad paisajística			Riqueza biológica			Grado de influencia (%)	
		Calidad del agua		Calidad visual	Calidad escénica		Flora	Fauna			
		P1	D1V2	P2	P3	D2V2	P4	P5	D3V2	TOT V1- V2	%V1- V2
Metales pesados	Cu	120	120	124	117	241	115	126	241	602	80.27
	Pb	110	110	108	116	224	112	118	230	564	75.20
	Zn	119	119	121	115	236	111	116	227	582	77.60
	TOTAL	349	349	353	348	701	338	360	698		
									PROMEDIO	582.67	77.69

Nota. El impacto de los tres metales pesados encaja en una calificación de ALTO de acuerdo al cuadro anterior, el grado de influencia de la contaminación que ejerce los metales pesados en el lago Junín, se califica de ALTO, siendo la influencia, en promedio del 77.69%.

En la figura 64, se observa la magnitud del impacto de los metales pesados sobre las dimensiones que definen la existencia del lago Junín. La fauna es el componente más vulnerado, así como la calidad visual del paisaje.

Figura 64

Magnitud del impacto según la percepción de la población



Nota: Según la recepción de la población la dimensión más afectada es la fauna donde la calificación en la valoración del impacto llega a 80%, seguido de la calidad visual con 78%.

Valoración de la frecuencia del impacto

El análisis de la frecuencia del impacto, se hizo en base al siguiente cuadro de ítems (Tabla 27)

Tabla 27*Ítems de preguntas para evaluar la frecuencia del impacto*

		0	1	2	3
Id	Interrogaciones	NUNCA OCURRE	OCURRE OCASIONALMENTE	OCURRE FRECUENTEMENTE	OCURRE EN FORMA CONTINUA
P1	¿Con que frecuencia ocurre el impacto de los metales pesados en la calidad del agua del lago Junín?				
P2	¿Con que frecuencia ocurre el impacto de los metales pesados en la calidad visual del paisaje del lago Junín?				
P3	¿Con que frecuencia ocurre el impacto de los metales pesados en la calidad escénica del paisaje del lago Junín?				
P4	¿Con que frecuencia ocurre el impacto de los metales pesados en la flora acuática del lago Junín?				
P5	¿Con que frecuencia ocurre el impacto de los metales pesados en la fauna acuática del lago Junín?				

Nota: Preguntas para medir la frecuencia del impacto de los metales pesados.

Para responder, los encuestados escogieron y marcaron con una “X” una de las alternativas de respuesta, teniendo en cuenta que cada número significa lo siguiente:

0 NUNCA OCURRE	1 OCURRE OCASIONAL MENTE	2 OCURRE FRECUENTEMENTE	3 OCURRE EN FORMA CONTINUA
----------------------	-----------------------------------	-------------------------------	-------------------------------------

El objetivo de este cuestionario fue conocer mejor la frecuencia de la ocurrencia de la concentración de los metales pesados en las aguas del lago Junín.

En el siguiente cuadro (Tabla 28), se muestra la valoración de frecuencias de la contaminación de las aguas con metales pesados, según la percepción de la población local.

Tabla 28

Frecuencia del impacto de los metales pesados

VALORACION MULTIDIMENSIONAL DE LA FRECUENCIA DEL IMPACTO									
		Calidad ambiental		Calidad paisajística			Riqueza biológica		
		Calidad del agua		Calidad visual	Calidad escénica		Flora	Fauna	
ID	Encuestados	P1	D1V2	P2	P3	D2V2	P4	P5	D3V2
1	E1	2	2	2	3	5	3	1	4
2	E2	0	0	3	3	6	3	3	6
3	E3	2	2	3	3	6	1	3	4
4	E4	2	2	1	3	4	3	2	5
5	E5	3	3	2	3	5	3	3	6
6	E6	3	3	1	3	4	1	3	4
7	E7	3	3	2	3	5	0	2	2
8	E8	3	3	3	3	6	2	3	5
9	E9	1	1	3	1	4	3	0	3
10	E10	2	2	2	3	5	3	3	6
11	E11	3	3	3	2	5	3	3	6
12	E12	3	3	2	3	5	1	3	4
13	E13	2	2	3	3	6	3	3	6
14	E14	3	3	3	1	4	3	2	5
15	E15	3	3	2	3	5	3	2	5

16	E16	2	2	2	2	4	1	0	1
17	E17	3	3	3	2	5	3	1	4
18	E18	1	1	3	3	6	1	2	3
19	E19	0	0	1	3	4	2	3	5
20	E20	3	3	3	3	6	3	3	6
21	E21	3	3	2	3	5	3	3	6
22	E22	3	3	2	3	5	3	3	6
23	E23	3	3	3	0	3	3	3	6
24	E24	1	1	3	1	4	1	0	1
25	E25	1	1	2	3	5	2	3	5
26	E26	3	3	3	0	3	3	3	6
27	E27	3	3	1	3	4	1	2	3
28	E28	1	1	2	3	5	0	2	2
29	E29	3	3	3	3	6	1	3	4
30	E30	3	3	3	3	6	2	2	4
31	E31	2	2	3	1	4	3	3	6
32	E32	3	3	2	1	3	3	3	6
33	E33	0	0	3	3	6	3	3	6
34	E34	3	3	3	3	6	3	3	6
35	E35	3	3	1	1	2	1	3	4
36	E36	3	3	0	3	3	2	3	5
37	E37	3	3	3	3	6	3	1	4
38	E38	2	2	3	2	5	3	3	6
39	E39	1	1	3	3	6	1	2	3
40	E40	0	0	3	0	3	3	3	6
41	E41	3	3	2	3	5	3	3	6
42	E42	2	2	3	2	5	2	1	3
43	E43	3	3	3	3	6	3	3	6
44	E44	2	2	3	3	6	1	2	3
45	E45	2	2	1	1	2	0	1	1
46	E46	1	1	3	3	6	3	3	6
47	E47	3	3	2	3	5	3	3	6
48	E48	3	3	3	2	5	2	2	4
49	E49	3	3	3	3	6	3	3	6
50	E50	2	2	1	0	1	3	3	6
	TOTAL	112	112	119	118	237	112	120	232

Nota: El cuadro muestra la valoración de la frecuencia del impacto de los metales pesados en el algo Junín.

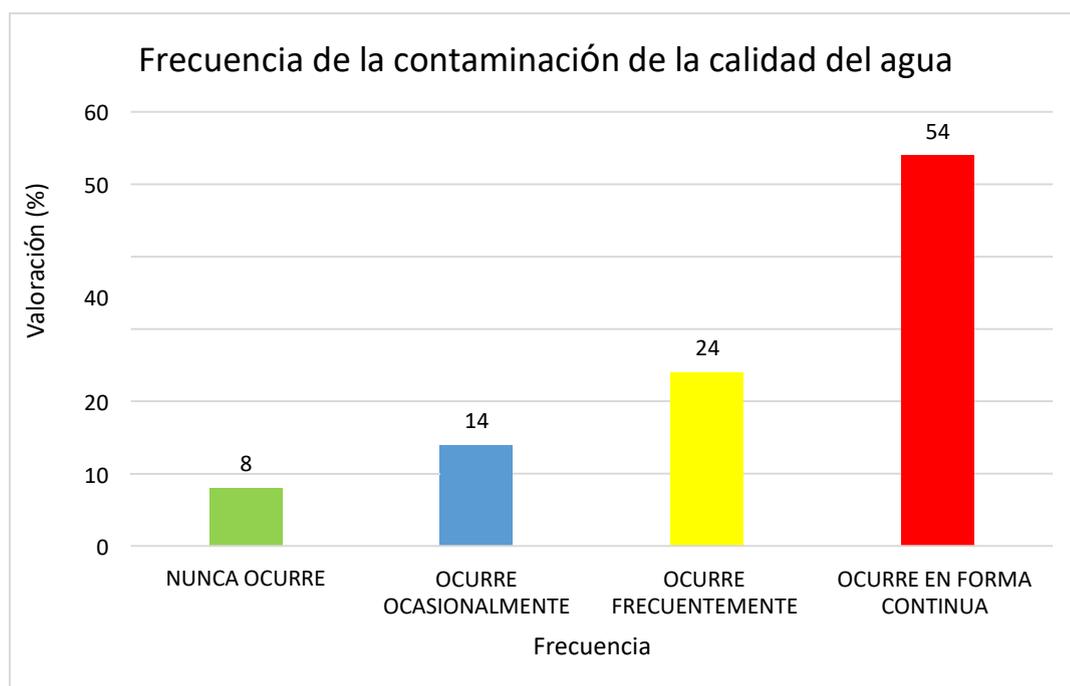
Con los resultados del cuadro anterior, se obtienen las series de tablas de

frecuencia y representaciones gráficas, que explica la regularidad de la ocurrencia de la contaminación del lago con metales pesados, según la percepción de la población.

Según la figura 65, el 54% de la percepción de la población asegura que existe una degradación continua de la calidad del agua debido a la concentración de los metales pesados.

Figura 65

Contaminación de la calidad del agua



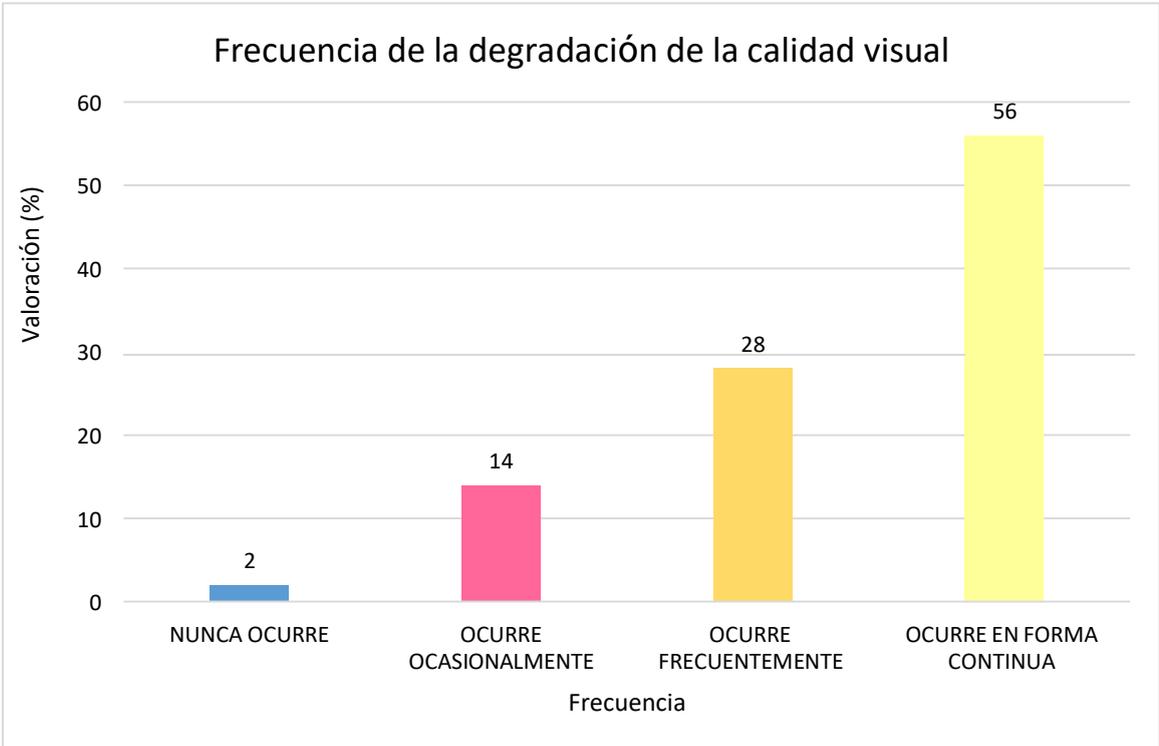
Nota: La percepción de la población tiene mucha lógica con definir la regularidad del impacto sobre el lago Junín, el mismo que ha sido comprobado mediante el análisis multitemporal.

De acuerdo a la figura siguiente (Figura 66), existe una degradación continua

de la calidad visual del paisaje “del lago Junín. El 56% de la percepción de la población asegura que existe un fuerte impacto de los metales pesados en la calidad paisajística de la zona de estudio.

Figura 66

Degradación de la calidad visual

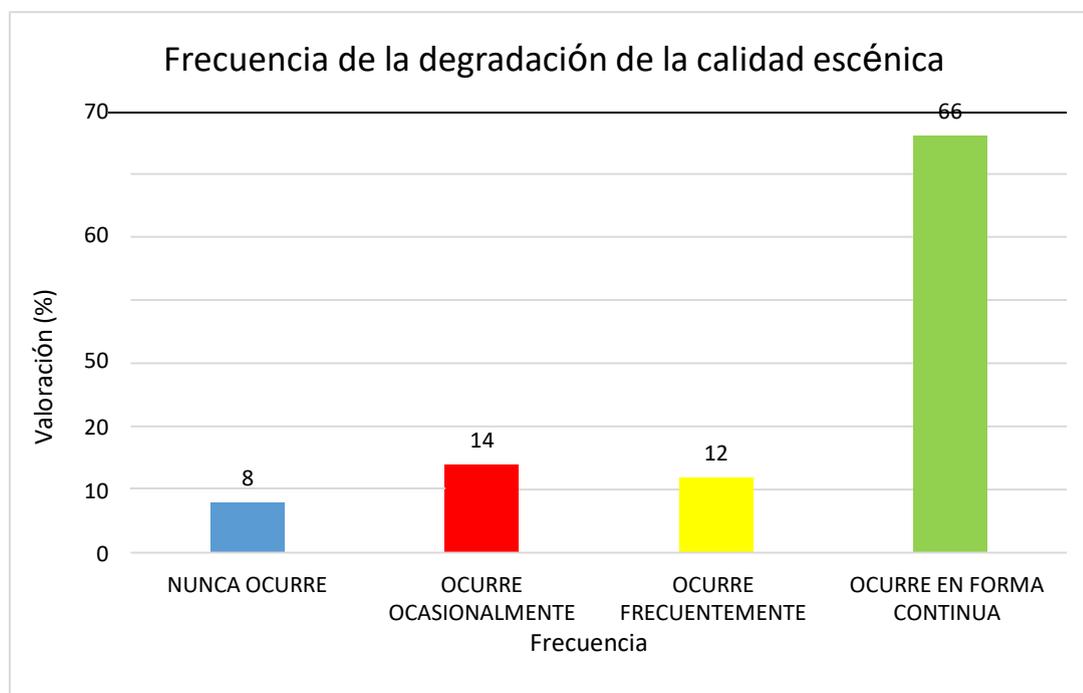


Nota: El paisaje es el componente más vulnerable y visible al impacto recurrente de los metales pesados en un ecosistema lacustre como el lago Junín.

La figura 67, es elocuente en el problema de la degradación de la calidad escénica del lago Junín. En 66% de las afirmaciones asegura que existe una fuerte contaminación y degradación del lago Junín en términos paisajísticos.

Figura 67

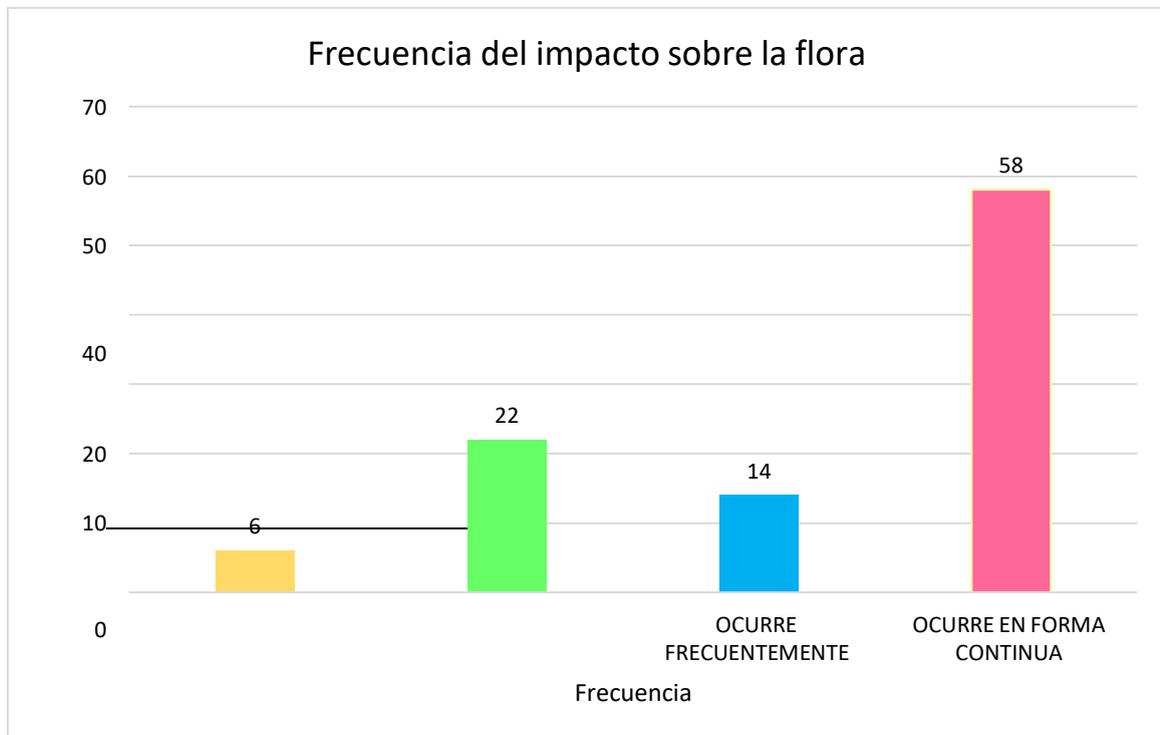
Degradación de la calidad escénica



Nota: La degradación de la calidad escénica es permanente debido a que el impacto de los metales pesados es también permanente.

Según la figura 68, la frecuencia de la contaminación con metales pesados afecta continuamente la flora acuática del lago Junín. El 58% de las afirmaciones asegura que la degradación de la flora ocurre en todo momento.

Figura 68 Impacto sobre la flora acuática

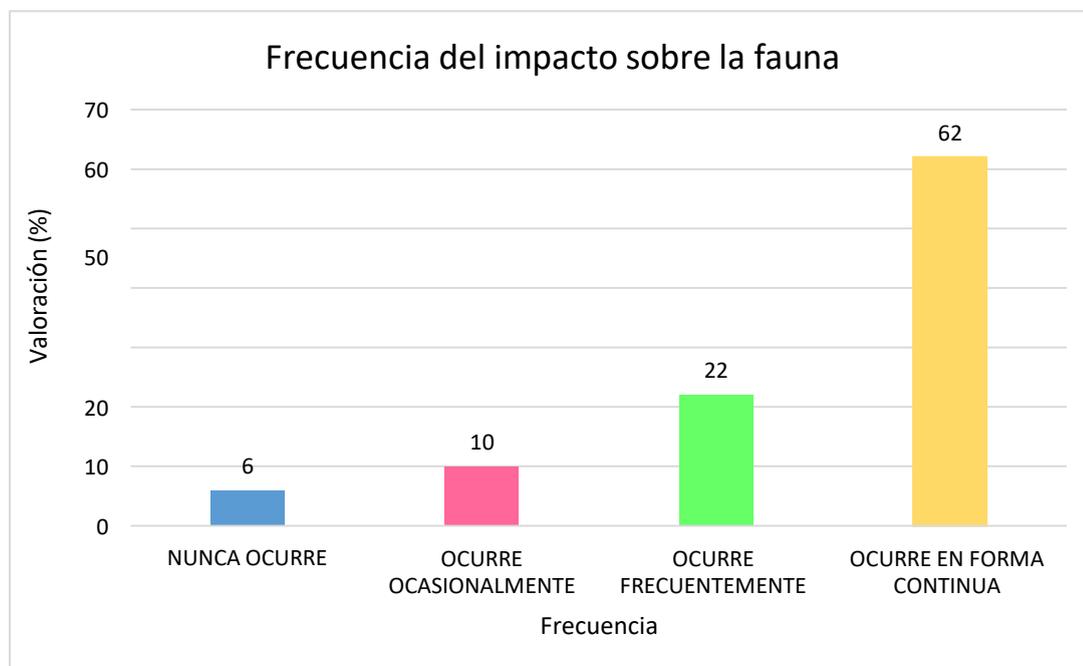


Nota: La flora acuática del lago Junín en el lado Noroeste ha sido degradado, quedando algunos remanentes que no pueden regenerarse por la afluencia continua de aguas contaminadas con metales pesados.

De acuerdo a la figura 69, la fauna acuática del lago Junín también se ve afectada por la presencia de metales pesados en sus aguas. El 62% de la percepción de la población considera que el problema es muy recurrente.

Figura 69

Impacto sobre la fauna acuática



Nota: La fauna acuática del lago Junín ha sufrido grandes pérdidas en los 50 años debido a la regularidad de la afluencia de metales pesados al lago Junín.

Finalmente, el 90% de la población encuestada asegura que la principal fuente de contaminación que degrada la calidad ambiental y paisajística del lago Junín, son las explotaciones mineras, de donde provienen grandes efluentes de agua contaminada con alto contenido en metales pesados; así mismo el 92% de la población desconoce si el agua es tratada y apto para consumo humano directo, toda vez que consumen el agua que alimenta el lago Junín. Se ha comprobado altos índices de enfermedades gastrointestinales y problemas de anemia.

5.2. Resultados inferenciales

5.2.1. Concentración y distribución del Cobre (Cu)

Prueba de normalidad

Los datos del cuadro anterior provienen de una distribución paramétrica, ya que p-valor tanto para la estación seca y la estación húmeda es mayor a 0.05 (Tabla 29).

Se elige Kolmogorov-Smirnov (Muestra mayor a 30)

Tabla 29

Prueba de normalidad datos de estación húmeda y seca

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	Gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Época húmeda	,317	6	,059	,803	6	,063
Época seca	,262	6	,200*	,859	6	,186
Promedio	,312	6	,070	,740	6	,016

Nota: *. Este es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de la significación de Lilliefors

Prueba de correlación de Pearson para Cu

Los datos tienen distribución paramétrica, entonces se hace la prueba de correlación de Pearson y se obtiene los siguientes resultados (Tabla 30)

Tabla 30*Correlaciones de Pearson para Cu*

		Correlaciones			
		Año	Época húmeda	Época seca	Promedio
Año	Correlación de Pearson	1	,821*	,923**	,538
	Sig. (bilateral)		,045	,009	,271
	N	6	6	6	6
Época húmeda	Correlación de Pearson	,821*	1	,664	,789
	Sig. (bilateral)	,045		,150	,062
	N	6	6	6	6
Época seca	Correlación de Pearson	,923**	,664	1	,262
	Sig. (bilateral)	,009	,150		,617
	N	6	6	6	6
Promedio	Correlación de Pearson	,538	,789	,262	1
	Sig. (bilateral)	,271	,062	,617	
	N	6	6	6	6

Nota: *. La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

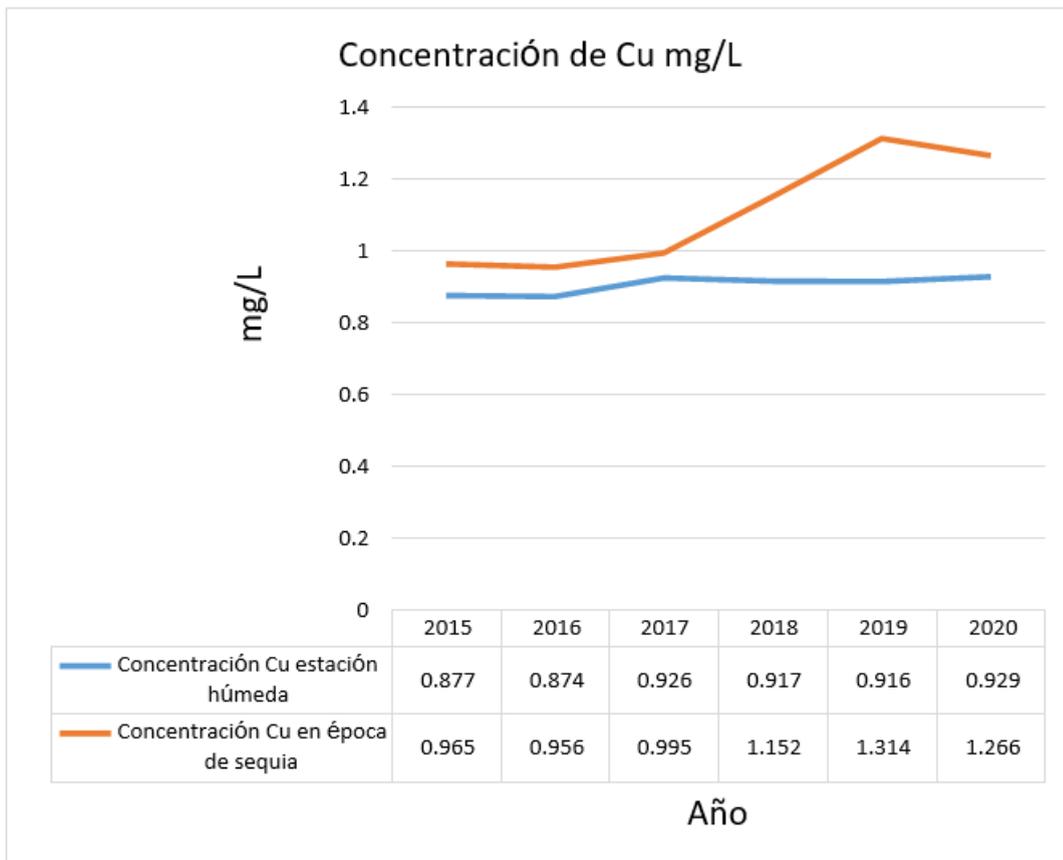
** . La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

Existe una correlación positiva alta de 0.821, entre la estación lluviosa y la cantidad de concentración de Cu, existe una correlación positiva de 0.923, entre la cantidad de Cu y la estación seca. Conforme pasan los años se incrementan la cantidad de Cu, principalmente durante la estación seca, aunque se amortiguan durante la estación lluviosa.

En la siguiente figura se observa una tendencia creciente en la concentración del cobre en las aguas del lago Junín, provenientes de las explotaciones mineras situadas en el lado Norte (Figura 70)

Figura 70

Concentración y evolución del Cu en el lago Junín



Nota: La concentración del Cu en el lago Junín aumenta en los meses de estación seca y disminuye durante la estación lluviosa.

5.2.2. Concentración y distribución del Plomo (Pb)

Prueba de normalidad para Pb

Los datos del cuadro anterior provienen de una distribución paramétrica, ya que p-valor tanto para la estación seca y la estación húmeda es mayor a 0.05 (Tabla 31)

Tabla 31*Prueba de normalidad datos de estación húmeda y seca.*

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Año	,122	6	,200*	,982	6	,961
Época húmeda	,234	6	,200*	,923	6	,528
Época seca	,308	6	,078	,715	6	,009
Promedio	,285	6	,138	,786	6	,044

Nota *. Este es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de la significación de Lilliefors

Prueba de correlación de Pearson para Pb

Se hace la prueba de correlación de Pearson y se obtiene los siguientes resultados (Tabla 32).

Tabla 32*Correlaciones de Pearson para Pb***Correlaciones**

		Año	Época húmeda	Época seca	Promedio
	Correlación de Pearson	1	,181	-,429	,61
Año	Sig. (bilateral)		,732	,396	,027
	N	6	6	6	6
Época húmeda	Correlación de Pearson	,181	1	-,398	-,180
	Sig. (bilateral)	,732		,435	,732
	N	6	6	6	6
Época seca	Correlación de Pearson	-,429	-,398	1	-,049
	Sig. (bilateral)	,396	,435		,926
	N	6	6	6	6
Promedio	Correlación de Pearson	,861*	-,180	,049	1
	Sig. (bilateral)	,027	,732	,926	
	N	6	6	6	6

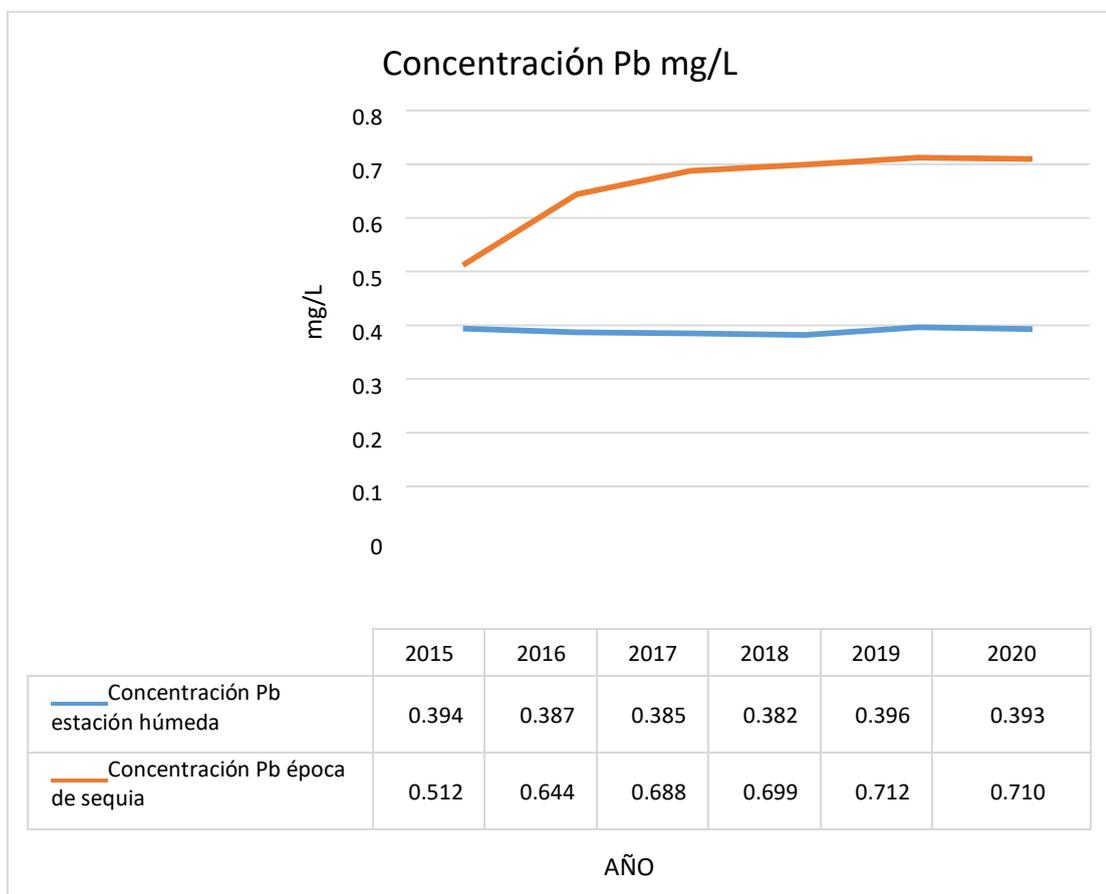
Nota. *. La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

Existe una correlación positiva baja de 0.181, entre la cantidad de Pb y la estación lluviosa, una correlación negativa media de -0.429, con la estación seca. El incremento del Pb con el transcurso de los años, tiene un comportamiento casi estable. Aunque en el promedio, se observa una correlación positiva muy alta que alcanza 0.861.

En la siguiente figura se observa un incremento rápido de la concentración del plomo en las aguas del lago Junín, durante la época de sequía entre los años 2015 y 2016. Sin embargo, en la temporada de lluvias la cantidad de Pb, en las aguas del lago Junín se mantienen casi estable (Figura 71).

Figura 71

Concentración y evolución del plomo en el lago Junín



Nota: La concentración del Pb en el lago Junín aumenta en los meses de estación seca y disminuye durante la estación lluviosa

5.2.3. Concentración y distribución del Zinc (Zn) Prueba de normalidad

Los datos del cuadro anterior provienen de una distribución paramétrica, a excepción de la estación seca ya que p-valor para la estación húmeda y para el promedio es mayor a 0.05 (Tabla 33)

Tabla 33

Prueba de normalidad datos de estación húmeda y seca

Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	Gl	Sig
Estación húmeda	,168	6	,200*	,967	6	,874
Estación seca	,404	6	,003	,640	6	,001
Promedio	,130	6	,200*	,994	6	,997

Nota: *. Este es un límite inferior de la significación verdadera.

b. Corrección de la significación de Lilliefors

Prueba de correlación de Pearson para Zn

Se hace la prueba de correlación de Pearson y se obtiene los siguientes resultados (Tabla 34).

Tabla 34*Correlaciones de Pearson para Zn***Correlaciones**

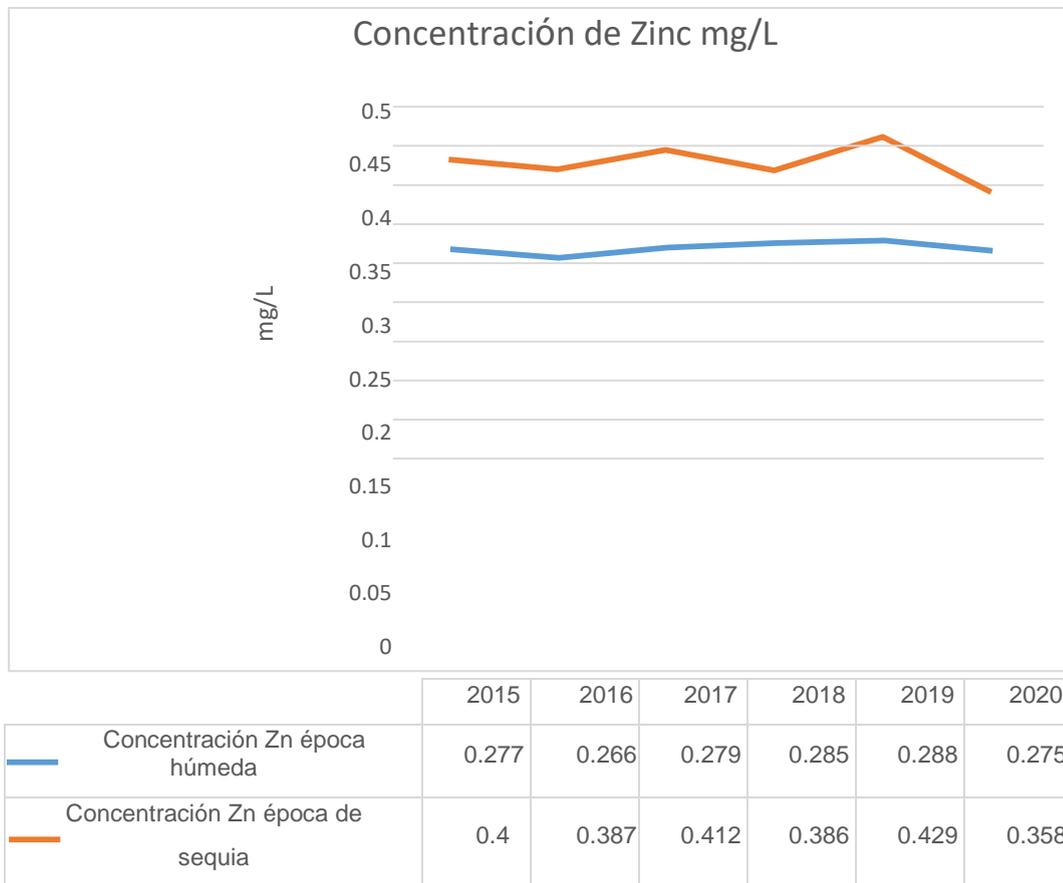
		Año	Estación húmeda	Estación seca	Promedio
Año	Correlación de Pearson	1	,425	,620	-,088
	Sig. (bilateral)		,400	,189	,869
	N	6	6	6	6
Estación húmeda	Correlación de Pearson	,425	1	,163	,701
	Sig. (bilateral)	,400		,758	,121
	N	6	6	6	6
Estación seca	Correlación de Pearson	,620	,163	1	,092
	Sig. (bilateral)	,189	,758		,863
	N	6	6	6	6
Promedio	Correlación de Pearson	-,088	,701	,092	1
	Sig. (bilateral)	,869	,121	,863	
	N	6	6	6	6

Existe una correlación positiva de media de 0.425, entre la cantidad de Zn y la estación lluviosa y una correlación positiva de media a alta de 0.620, con la estación seca. El incremento del Zn con el transcurso de los años, tiene un comportamiento casi estable y cierta manera aleatorio.

En la siguiente figura se observa la ligera variación en la concentración del zinc en las aguas del lago Junín, con mayores oscilaciones durante los meses de estación seca y concentraciones más estables en los meses de lluvias (Figura 72).

Figura 72

Concentración y evolución del plomo en el lago Junín



Nota: La concentración del Zn en el lago Junín aumenta en los meses de estación seca y disminuye durante la estación lluviosa

5.2.4. Correlación entre muestreo espectral y muestreo directo

La siguiente tabla (Tabla 35), sintetiza los datos totales de muestreo espectral y su correspondiente muestreo directo, donde en el promedio, la diferencia entre ambos es de 0.009., un margen de error insignificante.

Tabla 35

Comparativa de error para los metales pesados

Series	Metales pesados	Muestreo espectral	Muestreo directo
M1	Plomo	0.098	0.133
	Cobre	0.087	0.101
	Zinc	0.784	0.694
M2	Plomo	0.618	0.591
	Cobre	0.344	0.376
	Zinc	1.198	1.384
M3	Plomo	0.312	0.319
	Cobre	0.209	0.219
	Zinc	1.077	0.995
	Promedio	0.525	0.535

Nota: La diferencia entre muestreo directo y muestreo espectral para el caso del Zn es solo de 0.01.

Prueba de correlación de Pearson

Existe una correlación positiva ALTA de 0.982, entre los resultados obtenidos por muestreo espectral y muestreo directo lo que demuestra la alta eficacia del análisis multiespectral para el estudio multidimensional de los impactos ambientales (Tabla 36)

Tabla 36*Correlación de Pearson comparativo***Correlaciones**

		Muestreo espectral	Muestreo directo
Muestreo espectral	Correlación de Pearson	1	,982**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	10	10
Muestreo directo	Correlación de Pearson	,982**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	10	10

Nota: **. La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

5.2.5. Valoración de la magnitud del impacto**Valoración del impacto del Cobre****Prueba de alfa de Cronbach**

Los datos estadísticamente tienen una buena consistencia interna ACEPTABLE, que validan los instrumentos de investigación utilizados. El alfa de Cronbach es de 0. 672 (Anexo 10).

Prueba de normalidad

Los datos NO tienen distribución paramétrica ya que p-valor es menor de 0.05 (Tabla 37), son datos no paramétricos.

Tabla 37

Prueba de normalidad para datos del Cu

Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Calidad del agua	,397	50	,000	,668	50	,000
D1V2	,397	50	,000	,668	50	,000
Calidad visual	,416	50	,000	,625	50	,000
Calidad escénica	,405	50	,000	,668	50	,000
D2V2	,272	50	,000	,782	50	,000
Flora	,354	50	,000	,733	50	,000
Fauna	,426	50	,000	,600	50	,000
D3V2	,276	50	,000	,800	50	,000
Influencia V1-V2	,152	50	,006	,941	50	,015

Nota: a. Corrección de la significación de Lilliefors

Prueba de correlaciones paramétricas

La correlación de Pearson para 9 elementos analizados indica correlaciones positivas y negativas de mediana intensidad. Se verifica una cierta lógica en la percepción de la población en relación al impacto que ocasiona el Cu (Tabla 38)

Tabla 38

Prueba de normalidad para impacto del Cu

		Calidad del agua	D1V2	Calidad visual	Calidad escénica	D2V2	Flora	Fauna	D3V2	Influencia V1-V2
de	Correlación	1		-,156	,262	,083	-,277	,039	-	,446**
Calidad del agua	Pearson		,000	,278	,066	,566	,051	,789	,275	,001
	Sig. (bilateral)	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	N									
D1V2	Correlación de Pearson	1,000**	1	-,156	,262	,083	-,277	,039	,157	,446**
	Sig. (bilateral)	,000		,278	,066	,566	,051	,789	,275	,001
	Sig. (bilateral)	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	N									
Calidad visual	Correlación de Pearson	-,156	-,156	1	,153	,731**	-,077	,039	,026	,463**
	Sig. (bilateral)	,278	,278		,288	,000	,594	,791	,855	,001
	Sig. (bilateral)	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	N									
Calidad escénica (bilateral)	Correlación de Pearson	,262	,262	,153	1	,786**	-	,226	-	,423**
	Sig. (bilateral)	,066	,066	,288		,000	,418**	,114	,003	,002
	Sig. (bilateral)	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	N									
D2V2	Correlación de Pearson	,083	,083	,731**	,786**	1	-,336*	-,	,302*	,581**
	Sig. (bilateral)	,566	,566	,000	,000		,017	,361	,033	,000
	Sig. (bilateral)	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	N									
Flora	Correlación de Pearson	-,277	-,277	-,077	-,418**	,336*	-	,796**	-	,201
	Sig. (bilateral)	,051	,051	,594	,003	,017	1	,227	,000	,161
	Sig. (bilateral)	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	N									
Fauna	Correlación de Pearson	,039	,039	,039	-,226	,132	,227	1	,771**	,498**
	Sig. (bilateral)	,789	,789	,791	,114	,361	,112		,000	,000
	Sig. (bilateral)	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	N									
D3V2	Correlación de Pearson	-,157	-,157	-,026	-,414**	,302*	-,796**	,771**	1	,441**
	Sig. (bilateral)	,275	,275	,855	,003	,033	,000	,000		,001
	Sig. (bilateral)	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	N									
deInfluencia V1-V2	Correlación de Pearson	,446**	,446*	,463**	,423**	,581**	,201	,498**	,441**	1
	Sig. (bilateral)	,001	,001	,001	,002	,000	,161	,000	,001	
	Sig. (bilateral)	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	N									

Nota: **. La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral). *. La correlación es significativa al nivel 0,05(bilateral).

Valoración del impacto del Plomo

Prueba de alfa de Cronbach

Los datos estadísticamente tienen ALTA consistencia interna y por lo tanto ACEPTABLE, que validan los instrumentos de investigación utilizados. El alfa de Cronbach es de 0. 704 (Anexo 11).

Prueba de normalidad

Los datos NO tienen distribución paramétrica ya que p-valor es menor de 0.05 (Tabla 39), aunque en la influencia de la V1 a la variable V2 se hace paramétrica, ya que p-valor está por encima de 0.05.

Tabla 39

Prueba de normalidad para impacto del Pb

Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smirnova ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Calidad del agua	,316	50	,000	,772	50	,000
D1V2	,316	50	,000	,772	50	,000
Calidad visual	,331	50	,000	,758	50	,000
Calidad escénica	,361	50	,000	,717	50	,000
D2V2	,264	50	,000	,823	50	,000
Flora	,356	50	,000	,731	50	,000
Fauna	,387	50	,000	,686	50	,000
D3V2	,279	50	,000	,816	50	,000
Influencia V1-V2	,125	50	,048	,958	50	,074

Nota: a. Corrección de la significación de Lilliefors

Prueba de correlaciones paramétricas

La correlación de Pearson para 9 elementos analizados indica correlaciones positivas y negativas de mediana intensidad. Se verifica una cierta lógica en la percepción de la población en relación al impacto que ocasiona el Pb. En términos generales se observa una correlación positiva moderada entre la V1 (análisis multiespectral y multitemporal) y la V2 (Valoración multidimensional del impacto) (Anexo 11).

Tabla 40

Correlaciones percepción de la población Vs Pb

	Calidad del agua	D1V2	Calidad visual	Calidad escénica	D2V2	Flora	Fauna	D3V2	Influencia V1-V2
Correlación de Pearson	1	1,000**	-,114	-,158	-,165	,055	,184	,151	,435**
Sig. (bilateral)		,000	,432	,272	,252	,706	,202	,297	,002
N	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Correlación de Pearson	1,000**	1	-,114	-,158	-,165	,055	,184	,151	,435**
Sig. (bilateral)	,000		,432	,272	,252	,706	,202	,297	,002
N	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Correlación de Pearson	-,114	-,114	1	,338*	,834*	-	-,100	-,189	,449**
Sig. (bilateral)						,195			
N	,432	,432		,016	,000	,175	,491	,188	,001
Correlación de Pearson	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Sig. (bilateral)	-,158	-,158	,338*	1	,801*	-	-,083	-,244	,364**
N						,295			
Correlación de Pearson	,272	,272	,016		,000	,038	,566	,088	,009
Sig. (bilateral)	50	50	50	50	50	50	50	50	50
N	-,165	-,165	,834**	,801**	1	-	-,112	-,263	,499**
Correlación de Pearson	,252	,252	,000	,000		,036	,438	,065	,000
Sig. (bilateral)	50	50	50	50	50	50	50	50	50
N	,055	,055	-,195	-,295*	-,297*	1	,226	,792*	,368**
Correlación de Pearson	,706	,706	,175	,038	,036		,115	,000	,008
Sig. (bilateral)	50	50	50	50	50	50	50	50	50
N	,184	,184	-,100	-,083	-,112	,226	1	,773*	,554**
Correlación de Pearson	,202	,202	,491	,566	,438	,115		,000	,000
Sig. (bilateral)	50	50	50	50	50	50	50	50	50
N	,151	,151	-,189	-,244	-,263	,792**	,773*	1	,587**
Correlación de Pearson	,297	,297	,188	,088	,065	,000	,000		,000
Sig. (bilateral)	50	50	50	50	50	50	50	50	50
N	,435**	,435**	,449**	,364**	,499*	,368*	,554*	,587*	1
Correlación de Pearson	,002	,002	,001	,009	,000	,008	,000	,000	
Sig. (bilateral)	50	50	50	50	50	50	50	50	50
N									

Nota: **. La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral). *. La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

Valoración del Impacto del Zinc

Prueba de alfa de Cronbach

Los datos estadísticamente tienen ALTA significancia y consistencia interna, que validan los instrumentos de investigación utilizados. El alfa de Cronbach es de 0.807 (Anexo 12).

Prueba e normalidad

Los datos NO tienen distribución paramétrica ya que p-valor es menor de 0.05 (Tabla 41), aunque en la influencia de la V1 a la variable V2 se hace paramétrica, ya que p-valor está por encima de 0.05.

Tabla 41

Prueba de normalidad para los datos del Zn

	Kolmogorov-Smirnova			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Calidad del agua	,389	50	,000	,687	50	,000
D1V2	,389	50	,000	,687	50	,000
Calidad visual	,370	50	,000	,698	50	,000
Calidad escénica	,375	50	,000	,700	50	,000
D2V2	,228	50	,000	,814	50	,000
Flora	,343	50	,000	,745	50	,000
Fauna	,377	50	,000	,703	50	,000
D3V2	,268	50	,000	,826	50	,000
Influencia V1-V2	,117	50	,086	,940	50	,013

Nota: a. Corrección de la significación de Lilliefors

Prueba de correlaciones no paramétricas

La correlación de Pearson para 9 elementos analizados indica correlaciones positivas y negativas de mediana intensidad. Se verifica una cierta lógica en la percepción de la población en relación al impacto que ocasiona el Zn. En términos generales se observa una correlación positiva moderada entre la V1 (análisis multiespectral y multitemporal) y la V2 (Valoración multidimensional del impacto). (Tabla 42)

Tabla 42

Correlaciones percepción de la población Vs Zn

		Calidad del agua	D1V2	Calidad visual	Calidad escénica	D2V2	Flora	Fauna	D3V2	Influencia V1-V2
Calidad de agua	Correlación de Pearson	1	1,000**	,113	-,211	-,085	,151	,043	,125	,393**
	Sig. (bilateral)		,000	,434	,141	,556	,294	,765	,386	,005
	N	50	50	50	50	50	50	50	50	50
D1V2	Correlación de Pearson	1,000**	1	,113	-,211	-,085	,151	,043	,125	,393**
	Sig. (bilateral)	,000		,434	,141	,556	,294	,765	,386	,005
	N	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Calidad visual	Correlación de Pearson	,113	,113	1	,325*	,758**	,376**	,087	,298*	,666**
	Sig. (bilateral)	,434	,434		,021	,000	,007	,547	,036	,000
	N	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Calidad escénica	Correlación de Pearson	-,211	-,211	,325*	1	,863**	-,107	,169	,038	,450**
	Sig. (bilateral)	,141	,141	,021		,000	,460	,242	,794	,001
	N	50	50	50	50	50	50	50	50	50
D2V2	Correlación de Pearson	-,085	-,085	,758**	,863**	1	,126	,163	,185	,665**
	Sig. (bilateral)	,556	,556	,000	,000		,381	,259	,198	,000
	N	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Flora	Correlación de Pearson	,151	,151	,376**	-,107	,126	1	,220	,785**	,609**
	Sig. (bilateral)	,294	,294	,007	,460	,381		,125	,000	,000
	N	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Fauna	Correlación de Pearson	,043	,043	,087	,169	,163	,220	1	,776**	,586**
	Sig. (bilateral)	,765	,765	,547	,242	,259	,125		,000	,000
	N	50	50	50	50	50	50	50	50	50
D3V2	Correlación de Pearson	,125	,125	,298*	,038	,185	,785**	,776**	1	,765**
	Sig. (bilateral)	,386	,386	,036	,794	,198	,000	,000		,000
	N	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Influencia V1-V2	Correlación de Pearson	,393**	,393**	,666**	,450**	,665**	,609**	,586**	,765**	1
	Sig. (bilateral)	,005	,005	,000	,001	,000	,000	,000	,000	
	N	50	50	50	50	50	50	50	50	50

Nota: **. La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral). *. La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

Prueba de correlación entre variables

Correlación de Pearson

Existe alta correlación de 0.895, entre la variable 1 y la variable 2 La percepción de la población en la valoración del impacto obedece a la magnitud y frecuencia de los metales pesados. Cu, Pb y Zn (Tabla 43)

Tabla 43

Prueba de correlación de Pearson entre la V1 y V2

	Calidad del agua	D1V2	Calidad visual	Calidad escénica	D2V2	Flora	Fauna	D3V 2	Influencia V1-V2
Correlación de Pearson	1	1,000**	,996	,091	,980	,363	,412	,398	,895
Calidad del agua Sig. (bilateral)		,000	,055	,942	,127	,763	,730	,739	,295
N	3	3	3	3	3	3	3	3	3
de Correlación Pearson	1,000**	1	,996	,091	,980	,363	,412	,398	,895
D1V2 Sig. (bilateral)		,000	,055	,942	,127	,763	,730	,739	,295
N	3	3	3	3	3	3	3	3	3
de Correlación Pearson	,996	,996	1	,176	,994	,442	,489	,476	,930
Calidad visual Sig. (bilateral)		,055	,055	,887	,072	,708	,675	,684	,240
N	3	3	3	3	3	3	3	3	3
de Correlación Pearson	,091	,091	,176	1	,286	,961	,945	,950	,526
Calidad escénica Sig. (bilateral)		,942	,942	,887	,815	,179	,212	,203	,647
N	3	3	3	3	3	3	3	3	3
de Correlación de Pearson	,980	,980	,994	,286	1	,541	,584	,572	,965
D2V2 Sig. (bilateral)		,127	,127	,072	,815	,636	,603	,612	,168
N	3	3	3	3	3	3	3	3	3
de Correlación de Pearson	,363	,363	,442	,961	,541	1	,999*	,999*	,741

Flora									
	Sig. (bilateral)	,763	,763	,708	,179	,636	,033	,024	,468
	N	3	3	3	3	3	3	3	3
	Correlación de Pearson	,412	,412	,489	,945	,584	,999	1,00	,775
Fauna									
	Sig. (bilateral)	,730	,730	,675	,212	,603	,033	,009	,435
	N	3	3	3	3	3	3	3	3
	Correlación de Pearson	,398	,398	,476	,950	,572	,999	1,0	,766
D3V2									
	Sig. (bilateral)	,739	,739	,684	,203	,612	,024	,009	,444
	N	3	3	3	3	3	3	3	3
	Correlación de Pearson	,895	,895	,930	,526	,965	,741	,775	,766
Influencia V1-V2									
	Sig. (bilateral)	,295	,295	,240	,647	,168	,468	,435	,444
	N	3	3	3	3	3	3	3	3

Nota: **. La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral). *. La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

5.2.6. Valoración de la frecuencia del Impacto Prueba de alfa de Cronbach

La prueba de alfa de Cronbach para los datos que explican el grado de frecuencia de la contaminación por metales pesados, indica datos de buena consistencia interna y valida el instrumento de investigación como de alta confiabilidad, ya que el alfa de Cronbach alcanza 0.790 (Anexo 13).

Prueba de correlaciones

Se verifica correlaciones positivas de media a alta entre los valores definidos por la percepción de la población y la frecuencia de ocurrencia de la contaminación de los metales pesados (Tabla 44)

Tabla 44

Correlaciones de Pearson para frecuencia de contaminación de los metales pesados

		Calidad del agua	D1V2	Calidad visual	Calidad escénica	D2V2	Flora	Fauna	D3V2	Influencia V1-V2
Calidad del agua	Correlación de Pearson	1	1,000**	-,118	,055	-,031	,086	,143	,140	,491**
	Sig. (bilateral)		,000	,415	,702	,828	,554	,322	,333	,000
	N	50	50	50	50	50	50	50	50	50
D1V2	Correlación de Pearson	1,000**	1	-,118	,055	-,031	,086	,143	,140	,491**
	Sig. (bilateral)	,000		,415	,702	,828	,554	,322	,333	,000
	N	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Calidad visual	Correlación de Pearson	-,118	-,118	1	-,072	,590*	,264	-,073	,129	,347*
	Sig. (bilateral)	,415	,415		,621	,000	,064	,615	,370	,014
	N	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Calidad escénica	Correlación de Pearson	,055	,055	-,072	1	,763*	-,128	,153	,006	,430**
	Sig. (bilateral)	,702	,702	,621		,000	,375	,289	,965	,002
	N	50	50	50	50	50	50	50	50	50
D2V2	Correlación de Pearson	-,031	-,031	,590**	,763**	1	,068	,076	,089	,572**
	Sig. (bilateral)	,828	,828	,000	,000		,641	,598	,539	,000
	N	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Flora	Correlación de Pearson	,086	,086	,264	-,128	,068	1	,298*	,827**	,611**
	Sig. (bilateral)	,554	,554	,064	,375	,641		,036	,000	,000
	N	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Fauna	Correlación de Pearson	,143	,143	-,073	,153	,076	,298*	1	,783**	,610**
	Sig. (bilateral)	,322	,322	,615	,289	,598	,036		,000	,000
	N	50	50	50	50	50	50	50	50	50
D3V2	Correlación de Pearson	,140	,140	,129	,006	,089	,827**	,783**	1	,757**
	Sig. (bilateral)	,333	,333	,370	,965	,539	,000	,000		,000
	N	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Influencia V1-V2	Correlación de Pearson	,491**	,491**	,347*	,430**	,572**	,611**	,610**	,757**	1
	Sig. (bilateral)	,000	,000	,014	,002	,000	,000	,000	,000	
	N	50	50	50	50	50	50	50	50	50

Nota: **. La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral). *. La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

VI.- DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados

La presente investigación tiene como objetivo general, determinar, en qué medida el análisis multiespectral y *multitemporal* permiten la valoración multidimensional del impacto de los metales pesados en el lago Junín en el periodo 2015 – 2020. También, se definieron objetivos específicos orientados a determinar la relación significativa entre las dimensiones de las dos variables de estudio. Para lograr tales objetivos, se desarrollaron hipótesis de trabajo, las cuales fueron contrastadas tras el análisis estadístico e inferencial de los datos recogidos. En ese sentido, en este acápite se fundamentan las hipótesis planteadas para esta investigación, mediante la explicación de los resultados que avalan cada una de ellas, contrastando con los obtenidos por otros investigadores.

Análisis de la hipótesis general

La hipótesis general planteada en la presente investigación es: El análisis multiespectral y multitemporal permiten la valoración multidimensional del impacto de los metales pesados en el lago Junín en el periodo 2015 – 2020. Hace referencia a la existencia de una relación significativa de las variables análisis multitemporal y multiespectral con la valoración multidimensional del impacto de los metales pesados en el lago Junín. Además, mediante la estadística descriptiva, se determinó el grado de influencia de la variable 1 sobre la variable 2 en 77.69%.

Premisas:

Hipótesis Alternativa (HA): El análisis multiespectral y multitemporal permiten la valoración multidimensional del impacto de los metales pesados en el lago Junín en el periodo 2015– 2020.

Hipótesis Nula (H0): Alternativa (HA): El análisis multiespectral y multitemporal no permiten la valoración multidimensional del impacto de los metales pesados en el lago Junín en el periodo 2015 – 2020.

Regla de decisión

Si la prueba de correlación entre $V1$ & $V2 = 0$, entonces no existe correlación

Si la prueba de correlación entre $V1$ & $V2 \neq 0$, entonces existe correlación.

De acuerdo a la prueba inferencial, la correlación entre $V1V2$ es de 0.895 el cual es $\neq 0$.

Por lo tanto:

Se rechaza la hipótesis nula (H0) y se acepta la hipótesis alternativa (HA)

Análisis de la hipótesis específica 1

En relación a la hipótesis específica 1, existe una influencia directa de 80.27% del Cu sobre el impacto multidimensional, se verifica un alfa de Cronbach de 0.672, lo que demuestra la validez y confiabilidad de los datos y de los instrumentos de medición.

Premisas:

Hipótesis Alternativa (HA): El análisis multiespectral y multitemporal permiten la valoración multidimensional del impacto del cobre en el lago Junín en el periodo 2015 – 2020.

Hipótesis Nula (H0): El análisis multiespectral y multitemporal no permiten la valoración multidimensional del impacto del cobre en el lago Junín en el periodo 2015–2020.

Regla de decisión

Si la prueba de correlación entre D1V1 & V2 = 0, entonces no existe correlación

Si la prueba de correlación entre D1V2 & V2 \neq 0, entonces existe correlación

De acuerdo a la prueba inferencial, la correlación entre D1V1 & V2 es de 0.446 el cual es \neq 0.

Por lo tanto:

Se rechaza la hipótesis nula (H0) y se acepta la hipótesis alterna (HA)

Se verifica, entonces una correlación de Pearson de 0.446, por lo que la correlación es positiva de alta significancia estadística que hay entre la dimensión del impacto multidimensional del Cu sobre la calidad ambiental, paisajística y riqueza biológica.

Análisis de la hipótesis específica 2

En relación a la hipótesis específica 2, existe una influencia directa de 75.20% del Pb sobre el impacto multidimensional, se verifica un alfa de Cronbach de 0.704, lo que demuestra la validez y confiabilidad de los datos y de los instrumentos de medición.

Premisas:

Hipótesis Alterna (HA): El análisis multiespectral y multitemporal permiten la valoración multidimensional del impacto del plomo en el lago Junín en el periodo 2015 – 2020.

Hipótesis Nula (H0): El análisis multiespectral y multitemporal no permiten la valoración multidimensional del impacto del plomo en el lago Junín en el periodo 2015–2020.

Regla de decisión

Si la prueba de correlación entre D2V1 & V2 = 0, entonces no existe correlación

Si la prueba de correlación entre D2V2 & V2 \neq 0, entonces existe correlación

De acuerdo a la prueba inferencial, la correlación entre D2V1 & V2 es de 0.435 el cual es \neq 0.

Por lo tanto:

Se rechaza la hipótesis nula (H0) y se acepta la hipótesis alterna (HA)

Se verifica, entonces una correlación de Pearson de 0.435, por lo que la correlación es positiva de alta significancia estadística que hay entre la dimensión del impacto multidimensional del Pb sobre la calidad ambiental, paisajística y riqueza biológica.

Análisis de la hipótesis específica 3

En relación a la hipótesis específica 3, existe una influencia directa de 77.60% del Zn sobre el impacto multidimensional, se verifica un alfa de Cronbach de 0.807, lo que demuestra la validez y confiabilidad de los datos y de los instrumentos de medición.

Premisas:

Hipótesis Alterna (HA): El análisis multiespectral y multitemporal permiten la valoración multidimensional del impacto del zinc en el lago Junín en el periodo 2015 – 2020.

Hipótesis Nula (H0): El análisis multiespectral y multitemporal no permiten la valoración multidimensional del impacto del zinc en el lago Junín en el periodo 2015–2020.

Regla de decisión

Si la prueba de correlación entre D3V1 & V2 = 0, entonces no existe correlación

Si la prueba de correlación entre D3V2 & V2 \neq 0, entonces existe correlación

De acuerdo a la prueba inferencial, la correlación entre D3V1 & V2 es de 0.393 el cual es \neq 0.

Por lo tanto:

Se rechaza la hipótesis nula (H0) y se acepta la hipótesis alterna (HA)

Se verifica, entonces una correlación de Pearson de 0.393, por lo que la correlación es positiva de alta significancia estadística que hay entre la dimensión del impacto multidimensional del Zn sobre la calidad ambiental, paisajística y riqueza biológica.

6.2. Contrastación de los resultados con otros estudios similares

En relación a la hipótesis general el resultado concuerda con lo propuesto por los autores Li et al. (2010), donde demostraron la que los estudios multiespectrales y multitemporales, resultan eficaces hasta 90% para la cuantificación multidimensional de los impactos ocasionados por la acumulación de metales pesados en cobertura acuáticas con vegetación. Asimismo, dichos autores, sostienen que la eficacia de los estudios multiespectrales aumenta con la resolución espacial y espectral, denominado teledetección hiperespectral, y son los óptimos para estudios estratégicos de grandes unidades ambientales como lagos y presas que abarcan grandes extensiones de la superficie terrestre.

Bajo esta perspectiva, Nieves (2016), asegura que el análisis de las firmas espectrales por reflectancia permite visualizar el comportamiento dinámico de los

contaminantes. En sus hallazgos llega a la conclusión, que los metales pesados con concentraciones en cuerpos de agua, tienen alta sensibilidad al espectro electromagnético de los sensores satelitales, por lo que permite cuantificar con alta precisión su concentración en términos de densidad y su distribución en términos espaciales (porcentajes de superficie afectada) así como su evolución temporal. Por ello los estudios multispectrales y multitemporales utilizando imágenes de satélite de alta resolución, son cada vez más utilizados para optimizar el plan de muestreo, así como para monitorear los estudios ambientales, por su eficacia y costo de reposición (Bremer et. al. 2016). En esta investigación también se demuestra la eficacia de los estudios multispectrales respecto el muestreo directo, es del 96%, por lo que existe una correlación positiva ALTA de 0.982, entre ambos tipos de muestreo.

En ese sentido, los resultados encontrados en el presente estudio corroboran lo encontrado en las investigaciones de G. Bustos y G. Mahecha (2015) en donde hallaron la relación estrecha entre el análisis multispectral y el grado de evolución multitemporal de los impactos en una relación proporcional. Muestra una eficacia del 89% a pesar de utilizar una escala de 1:100000, comprobado mediante una serie de muestreos en campo.

Siguiendo la misma línea explicativa, se reconoce la importancia de la influencia que ejerce los contaminantes en la variación de la calidad ambiental, las mismas que son expresados con mayor precisión mediante el análisis de las firmas espectrales que emiten las sustancias contaminantes por Quezada (2019).

Entonces queda demostrada la hipótesis general, que relaciona el análisis multispectral con la valoración multidimensional del impacto, en términos de magnitud; el análisis multitemporal con la valoración multidimensional del impacto, en

términos de frecuencia de ocurrencia, ese último con un nivel de influencia del 77.47%, la misma que ha sido confirmada por varias investigaciones y también mediante correlaciones no paramétricas, obteniéndose correlaciones positivas de fuerte intensidad de 0.897, entre las variables: Análisis multitemporal, análisis multiespectral y valoración multidimensional del impacto.

Los resultados obtenidos en la hipótesis específica 1 guarda relación con los hallazgos encontrados en las investigaciones de Zumaeta (2019); Subia (2020); y Uribe (2019) en donde se resalta la correlación significativa entre las dimensiones de la variable independiente y las dimensiones de la variable, concluyendo que la técnica del análisis multiespectral, resulta conveniente para la cuantificación y monitoreo de metales pesados como el Cu, en cuanto a su concentración. Así mismo también resalta la eficacia de las series temporales para conocer la distribución espacio - temporal del Cu en cuerpos de agua. Uribe (2019), realizó estimaciones de las concentraciones de tres metales pesados, cobre (Cu), zinc (Zn) y plomo (Pb), en cuerpos de agua, utilizando el algoritmo genético en el procesamiento de las imágenes satelitales, obteniéndose resultados de una validación del 95%, respecto a las pruebas de muestreo directo.

Además de ello, Montoya (2015) y Nieves (2016), mencionaron que, los estudios espectrales resultan eficaces para conocer la composición química, así como el PH, de los cuerpos de agua afectados por sedimentos solidos como los metales pesados, en el intervalo espectral de 375 a 935 nm, lo que incluye análisis del Cu. Asimismo, López (2018) y Martínez (2017) indicaron que, mediante el análisis de series temporales de las imágenes de Landsat, basado en el grado de reflectancia de los metales pesados, se puede delimitar el área contaminación por relaves mineros

que son portadoras de alta concentración de metales pesados como el Cu. Por eso por estas consideraciones y los resultados cuantitativos obtenidos en esta investigación se valida la primera hipótesis específica.

La hipótesis específica 2 tiene su fundamento en el trabajo que realizó Nieves (2016) quien definió las firmas espectrales y las series temporales como fundamentos técnicos de alta eficacia para los estudios de impacto ambiental, ocasionados por la concentración y dispersión de metales. Los resultados de la hipótesis específica 3 concuerdan con lo encontrado en la investigación de un ecosistema lacustre que realizaron Faciu et. al (2016) y Martínez (2017), en donde se evidenció la competencia técnica de los estudios multiespectrales en la identificación de sustancias químicas contaminantes en cuerpos de agua, con una eficacia del 91% respecto al muestreo directo. Uno de los componentes analizados fue el Zn que muestra alta reflectancia y emisividad. Por su parte, Chen et. al (2012) al hacer la valoración del impacto ambiental ocasionados por los relaves mineros en el río Pearl, obtuvo mejores resultados al aplicar el análisis espectral de las imágenes SENTINEL y LANDSAT. Verifico que los metales pesados como el Zn, se reflejaban mejor en la combinación de bandas espectrales en longitud de onda de 346 a 1037 nm, basados en el Algoritmo Genético y la reflectancia (R_{rs}).

Sin embargo, en la investigación realizada por Fernando A. et al (2014) se obtuvieron resultados diferentes a los hallados en la presente investigación, ya que su estudio concluye que no existe una buena correlación entre los datos obtenidos por teledetección satelital y el muestreo directo, en cuanto a los metales pesados. Una de las razones fue que trabajó imágenes Landsat 7 y a una escala muy pequeña, que implica una baja resolución espacial.

A pesar de este resultado, en la presente investigación se valida la eficacia del

análisis multiespectral y multitemporal, además que el 90% de autores consultados lo avalan como es el caso de Castillo & Rodríguez (2017); además de Castrejón & Díaz Cubas (2018) y principalmente Yan et. al (2021), quienes analizaron concentraciones de Cu, Pb, y As, siguiendo procedimientos de algoritmo genético a 80% de los datos de la muestra. Estos hallazgos son consistentes con los resultados de la encuesta llevados en campo, donde la percepción de la población tiene correlación directa con los niveles de contaminación ocasionados por los metales pesados y analizados mediante la técnica espectral y multitemporal. Que desarrollo esta investigación.

Por lo tanto, por todo lo expuesto se considera que existe suficiente soporte y respaldo para los resultados obtenidos en el presente estudio entre las variables análisis multiespectral y multitemporal con la valoración multidimensional del impacto, por lo que todas las hipótesis de investigación quedan plenamente sustentadas.

6.3. Responsabilidad ética de la investigación

Los autores de la presente investigación se declaran responsables de la autenticidad de todo el contenido y forma de este trabajo. Así mismo en nuestro proceder hemos tomado en cuenta los principios éticos que impliquen reconocer el trabajo de otros investigadores que sustentan esta investigación. Además, se ha procurado aportar en el avance del conocimiento, la comprensión y mejora de la situación problemática, de la condición ambiental, de la calidad de vida de la población y del progreso de la sociedad.

Reglamento de propiedad intelectual Res.1206-2019-R

Código de ética del investigador Res.260-2019-CU

CONCLUSIONES

- Se evidencia una correlación positiva, de fuerte intensidad y altamente significativa igual a 0.875 (Método de Pearson), entre la variable análisis multiespectral y análisis multitemporal con la variable análisis multidimensional del impacto de los metales pesados.
- Existe la relación entre el análisis multiespectral - multitemporal de la concentración y distribución del Cu con la magnitud y frecuencia de su impacto en la calidad ambiental, paisajística y riqueza biológica del lago Junín, donde el coeficiente de correlación es positivo, de fuerte intensidad y altamente significativo de 0.489 (Correlación de Pearson).
- Existe una relación entre el análisis multiespectral - multitemporal de la concentración y distribución del Pb con la magnitud y frecuencia de su impacto en la calidad ambiental, paisajística y riqueza biológica del lago Junín, donde el coeficiente de correlación es positivo, de fuerte intensidad y altamente significativo de 0.507 (Correlación de Pearson).
- Existe la relación entre el análisis multiespectral - multitemporal de la concentración y distribución del Zn con magnitud y frecuencia de su impacto en la calidad ambiental, paisajística y riqueza biológica del lago Junín, donde el coeficiente de correlación es positivo, de fuerte intensidad y altamente significativo de 0.607 (Correlación de Pearson).

RECOMENDACIONES

En base a los resultados y conclusiones obtenidos en la presente investigación se vio pertinente el planteamiento de las siguientes recomendaciones:

- A fin de contrastar los resultados obtenidos, se recomienda estudios con más series temporales, mayor resolución espectral y espacial, y con más número de puntos de muestreo directo.
- Analizar más número de indicadores relacionados al Cu y determinar su grado de impacto multidimensional en términos de su magnitud y frecuencia
- Analizar más número de indicadores relacionados al Pb y determinar su grado de impacto multidimensional en términos de su magnitud y frecuencia.
- Analizar más número de indicadores relacionados al Zn y determinar su grado de impacto multidimensional en términos de su magnitud y frecuencia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abud, M., Molina, G., Pacheco, A., & Pizarro, G. (2017). *Un Enfoque Multidimensional para abordar la agenda 2030*.

<https://www.undp.org/content/undp/es/home/librarypage/mdg/the-millennium-development-goals-report-2015/>

Alarcón Montaña, A. D., & Roza Arango, M. Á. (2020). *Análisis multitemporal de la transformación del bosque seco tropical que influye en la desertificación del municipio de Agua de Dios* [Universidad de La Salle].

https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitariahttps://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/1868

Alata Mollon, A. (2018). Análisis multitemporal de la explotación minera con aplicación de percepción remota y SIG en los Distritos de Ananea y Cuyocuyo-Puno, entre 1975 y 2017 [Universidad Nacional del Altiplano]. In *Universidad Nacional del Altiplano*. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/7125>

Alva Huayaney, M. E., & Meléndez de la Cruz, J. F. (2009). *Aplicación de la Teledetección para el análisis multitemporal de la regresión glaciaria en la Cordillera Blanca Application of Teledetection to the multitemporary analysis of the glacier regression in la Cordillera Blanca*. 71–83.

ANDINA. (2011). *Denuncian a cuatro mineras por contaminación de lago Chinchaycocha*. <https://andina.pe/agencia/noticia-denuncian-a-cuatro-mineras-contaminacion-lago-chinchaycocha-380786.aspx>

Bremer Bremer, M. H., Lozano García, D. F., Rodríguez García, M., & Hori Ochoa, M. del C. (2016). Caracterización de niveles de contaminación en una planta

- extractora de azufre utilizando imágenes de satélite de alta resolución para optimizar el plan de muestreo. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 32(2), 165–176. <https://doi.org/10.20937/RICA.2016.32.02.03>
- CAB. (2018). *Science nuggets*. <https://cab.inta-csic.es/>
- Castillo Haeger, C. (2014). El Espacio Lacustre como una construcción socio temporal. La cuenca y el lago Llanquihue en el sur de Chile. *CONAMA 2014*. www.conama2014.org
- Castillo, I., & Rodríguez, M. Á. (2017). Dinámica multitemporal de las coberturas y el espejo de agua en la laguna Fúquene. In *Reviews of Geophysics* (Vol. 45, Issue 2). <https://doi.org/10.1029/2006RG000197>
- Castrejon de la Cruz, A., & Díaz Cubas, J. W. (2018). *Teledetección de minerales generadores de acidez y metales pesados, usando imágenes satelitales áster en el distrito de Bambamarca, Cajamarca - 2018* [Universidad Privada del Norte]. <http://hdl.handle.net/11537/13779>
- Chen, C., Liu, F., & Tang, S. (2012). Estimation of heavy metal concentration in the Pearl River estuarine waters from remote sensing data. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, 2575–2578. <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2012.6350953>
- Chichipe, M. M., Chichipe, M. E. M., López, R. S., & Castillo, E. B. (2015). Análisis multitemporal de la deforestación usando la clasificación basada en objetos, distrito de Leymebamba (Perú). *INDES Revista de Investigación para el Desarrollo Sustentable*, 3(2), 67–76. <https://doi.org/10.25127/indes.201502.008>
- Cruz Mínguez, V., Gallego Martín, E., & Gonzáles de Paula, L. (2008). *Sistema de evaluación de impacto ambiental*.

- Dancé Caballero, J. J., & Sáenz Yaya, D. F. (2013). *Estado de la situación y gestión ambiental en Perú*.
- Dourojeanni, M. (2019). *Lago Junín: cinco décadas de descuido*.
<https://www.actualidadambiental.pe/lago-junin-cinco-decadas-de-descuido-escribe-marc-dourojeanni/>
- EHU. (2016). *La radiación del cuerpo negro*.
<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/cuantica/negro/radiacion/radiacion.htm>
- Faciú, M. E., Acatrinei-Insuratelu, O., Mata, L., Bran, E. P., Popescu, M., Sandu, C., Nadejde, I. M., Cojocariu, V. M., & Lazar, I. (2016). Identifying historic pollution on Lake Bacau I, Romania using GIS and satellite images. *Environmental Engineering and Management Journal*, 15(3), 645–653.
<https://doi.org/10.30638/EEMJ.2016.070>
- Fontal, B. (2005). *El Espectro Electromagnético y sus Aplicaciones*.
- García, R. (1996). *Observaciones preliminares para el manejo de las aves acuáticas del lago Junín*.
- GIS & Beers. (2018). *GIS & Beers - Gis&Beers*. <http://www.gisandbeers.com/>
- Gonzales Bustos, N. E., & Gonzales Mahecha, A. L. (2015). *Análisis multitemporal del espejo de agua en la laguna de Fúquenque para el periodo de 1985 a 2015* (Vol. 151). <https://doi.org/10.1145/3132847.3132886>
- Guillen, J., & Rojas-Valencia, M. N. (2019). Study of the properties of the Echerhirhu-Block made with Opuntia ficus mucilage for use in the construction industry. *Case Studies in Construction Materials*, 10, e00216.
<https://doi.org/10.1016/j.cscm.2019.e00216>

- Hagag, A., Hassan, E. S., Amin, M., Abd El-Samie, F. E., & Fan, X. (2017). Satellite multispectral image compression based on removing sub-bands. *Optik*, 131, 1023–1035. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2016.11.172>
- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación - Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación*.
- Instituto Geográfico Nacional. (2017). *Teledetección*. <http://www.ign.es>
- JDLA (2017). 1. ¿De qué estamos hablando? http://agrega.juntadeandalucia.es/repositorio/03112010/e6/es-an_2010110313_9101135/ODE-994e16fd-3309-37e6-a5f8-386e6143b5eb/1_de_qu_estamos_hablando.html
- Jensen, J. (2005). *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective*. https://books.google.com.pe/books/about/Introductory_Digital_Image_Processing.html?id=F84PAQAAIAAJ&redir_esc=y
- Jiménez-López, A. F., Jiménez-López, F., & Jiménez-López, M. (2015). *Análisis multiespectral de la vegetación para aplicaciones de sensado remoto*. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-17982015000200007
- Khorram, S., F. van der Wiele, C., H. Koch, F., A.C. Nelson, S., & D. Potts, M. (2016). *Principles of applied remote sensing*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-20000-7_8

- Lencinas, J. D., & Mohr-Bell, D. (2007). Estimación de clases de edad de las plantaciones de la provincia de Corrientes, Argentina, con base en datos satelitales Landsat. *Bosque*, 28(2), 106–118. <https://doi.org/10.4067/s0717-92002007000200003>
- Li, N., Lü, J. S., & Altermann, W. (2010). Hyperspectral remote sensing in monitoring the vegetation heavy metal pollution. *Guang Pu Xue Yu Guang Pu Fen Xi/Spectroscopy and Spectral Analysis*, 30(9), 2508–2511. [https://doi.org/10.3964/J.ISSN.1000-0593\(2010\)09-2508-04](https://doi.org/10.3964/J.ISSN.1000-0593(2010)09-2508-04)
- López Fandiño, J. (2018). *Efficient multitemporal change detection techniques for hyperspectral images on GPU*. Centro Internacional de Estudios de Doutoramento e Avanzados da USC (CIEDUS).
- López, M. S., Palomo Arroyo, M., Rincón Ramírez, J., Ormeño Villajos, S., & Vicent García, J. M. (2011). Métodos de documentación, análisis y conservación no invasivos para el arte ruprestre pospaleolítico: radiometría de campo e imágenes multiespectrales. Ensayos en la cueva del tío Garroso. *La Ciencia y El Arte*, December, 1–270.
- Macerlo Manrique, A. (2018). Evaluación de los factores físico- químicos del agua del lago Chinchaycocha, Pasco- Junín. In *Universidad Nacional Federico Villarreal*. <http://repositorio.unfv.edu.pe/handle/UNFV/2645>
- Martínez García, I. (2017). *Monitorización de la calidad del agua en embalses mediante técnicas de observación remota* [Universidad de Cantabria]. <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/12587/MartinezGarciaInes.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Martínez Vega, J., & Martín, M. P. (2010). Teledetección y Medio Ambiente. In *Red Nacional de Teledetección Ambiental*.

MINAM. (2006). *Ley General del Ambiente*. <https://sinia.minam.gob.pe/normas/ley-general-ambiente>

MINAM. (2009). *Política Nacional del Ambiente*. <http://www.minam.gob.pe>

Monedero García, C. (2013). *La prospectiva ambiental: Aplicación del enfoque y el método de la prospectiva estratégica en el estudio integral del ambiente*. 21, 108–124.

Montoya Cano, J. A. de drenajes ácidos de mina con sensores remotos. (2015). *Identificación de drenajes ácidos de mina con sensores remotos* [Universidad Nacional de Colombia]. <http://www.bdigital.unal.edu.co/52562/>

Muñoz, D., Rodríguez, M., & Romero, M. (2015). Análisis multitemporal de cambios de uso del suelo y coberturas, en la microcuenca las minas, corregimiento de la laguna, Municipio de Pasto, departamento de Nariño. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 26(1), 11–24.

<http://revistas.udenar.edu.co/index.php/rfacia/article/view/54#.WemOVI12Lpk.mendeley>

Muñoz Guerrero, D., Rodríguez Montenegro, M., & Romero Hernández, M. (2009). *Análisis multitemporal de cambios de uso del suelo y coberturas, en la microcuenca las minas, corregimiento de La Laguna, municipio de Pasto, departamento de Nariño* | *Revista de Ciencias Agrícolas*. <https://revistas.udenar.edu.co/index.php/rfacia/article/view/54>

Nieves Cuervo, S. F. (2016). *Utilización de imágenes multiespectrales para el análisis del comportamiento de la firma espectral del lago de Tota y la influencia de los*

cultivos de ceboll [Universidad Militar Nueva Granada].
file:///Users/andreataquez/Downloads/guia-plan-de-mejora-
institucional.pdf%0Ahttp://salud.tabasco.gob.mx/content/revista%0Ahttp://www.r
evistaalad.com/pdfs/Guias_ALAD_11_Nov_2013.pdf%0Ahttp://dx.doi.org/10.15
446/revfacmed.v66n3.60060.%0Ahttp://www.cenetec.

Olvo, M. (2018). *Ley de desplazamiento de Wien*.

<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbaseees/wien.html>

Ormeño Villajos, S. (2006). *Teledeteccion fundamental*.

Parkswatch. (2016). *Reserva Nacional de Junín - Perfil de Parque - Amenazas*.

<https://www.parkswatch.org/parkprofile.php?l=spa&country=per&park=jnar&page=thr>

Perevochtchikova, M. (2013). *La evaluación del impacto ambiental y la importancia de los indicadores ambientales*.

Quezada García, M. G. (2019). *Uso de imágenes satelitales para determinar los parámetros de calidad del agua en los ríos amazónicos Neshuya y Aguaytía - Perú*. Universidad Nacional Agraria La Molina.

Ramírez, A. (2017). *Ecosistemas acuáticos*.

<https://cuartob2016.blogspot.com/2016/07/ecosistemas-acuaticos.html>

Romero, F. S. (2006). La Teledetección satelital y los sistemas de protección ambiental. *Revista AquaTIC*, No, 24, 13–

<http://www.revistaaquatic.com/aquatic/art.asp?t=p&c=196>

SEGEMAR (2018). *Sensores Remotos – SEGEMAR*.

<http://www.segemar.gov.ar/igrm/sensores-remotos/>

- Shunlin, L., Li, X., & Wang, J. (2012). A Systematic View of Remote Sensing. In *Advanced Remote Sensing*. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-385954-9.00001-0>
- Subia Tito, Y. (2020). Análisis multitemporal de cambio de cobertura vegetal y uso de suelos en el Parque Nacional Bahuaja Sonene y su zona de amortiguamiento [Universidad Nacional del Altiplano]. In *Universidad Nacional del Altiplano*. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/14781>
- UPV. (2011). *Evaluación de los ecosistemas del Milenio en la comunidad autónoma del país Vasco*. https://www.euskadi.eus/contenidos/documentacion/ecomilenio_euskadi/es_def/adjuntos/2011.pdf
- Uribe Botero, E. (2015). El cambio climático y sus efectos en la biodiversidad en América Latina. In *Euroclima*.
- Uribe Ospina, D. (2019). *Estimación de la contaminación causada por la minería en cuerpos de agua del Bajo Cauca a través de imágenes satelitales*. Universidad EIA.
- Valdivia, R., & Alvarino, L. (1991). El Lago Junín: Un Recurso natural en contaminación progresiva. *Boletín de Lima*, 76, 35–38.
- Villalpanda, A., Bárbara Morales, E., Padrón, J., & Molina Veloso, A. (2015). *Influencia del campo magnético sobre el crecimiento de microorganismos patógenos ambientales aislados en el Archivo Nacional de la República de Cuba*. https://www.researchgate.net/publication/307437503_Influencia_del_campo_magnético_sobre_el_crecimiento_de_microorganismos_patogenos_ambientales_a

islados_en_el_Archivo_Nacional_de_la_Republica_de_Cuba/figures?lo=1

Weng, Q. (2020). *Techniques and methods in urban remote sensing*.

Yang, Y., Cui, Q., Jia, P., Liu, J., & Bai, H. (2021). Estimating the heavy metal concentrations in topsoil in the Daxigou mining area, China, using multispectral satellite imagery. *Scientific Reports*, 11(1), 1–9. [https://doi.org/10.1038/s41598-](https://doi.org/10.1038/s41598-021-91103-8)

021-91103-8 Zumaeta Lozano, D. L. (2019). Análisis multitemporal y predictivo del cambio de uso del suelo y pérdida de cobertura vegetal en la microcuenca Yuyac, Amazonas, 2018. In Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza - UNTRM. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza - UNTRM. <http://repositorio.untrm.edu.pe/handle/UNTRM/1986>

ANEXOS

Anexo N° 1: Matriz de Consistencia

TITULO: ANÁLISIS MULTIESPECTRAL Y MULTITEMPORAL PARA LA VALORACIÓN MULTIDIMENSIONAL DEL IMPACTO DE LOS METALES PESADOS EN EL LAGO JUNÍN EN EL PERIODO 2015 – 2020											
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Tipo variables	Variable	Dimensiones	Indicadores	Índice	Método	Técnica		
PG: ¿En qué medida el análisis multiespectral y multitemporal permiten la valoración multidimensional del impacto de los metales pesados en el lago Junín en el periodo 2015 – 2020?	OG: Determinar en qué medida el análisis multiespectral y multitemporal permiten la valoración multidimensional del impacto de los metales pesados en el lago Junín en el periodo 2015 – 2020	HG: El análisis multiespectral y multitemporal permiten la valoración multidimensional del impacto de los metales pesados en el lago Junín en el periodo 2015 – 2020	VARIABLE 1	Análisis multiespectral y multitemporal	Series multitemporales	Variación espacial	%Área total	Enfoque: Cuantitativo/cualitativo Método: Deductivo-hipotético Tipo de investigación: Aplicada Nivel de investigación: Explicativo Diseño de investigación: No experimental longitudinal Unidad de análisis: Imágenes satelitales Landsat 8 Población: Metales pesados en el lago Junín	Recolección de imágenes Landsat 8		
							Firmas espectrales		Grado de reflectancia de los metales pesados	% Reflectancia	Recolección de muestras espectrales
									Grado de concentración de los metales pesados	mg/L	Recolección de muestras en los puntos de control
PE1: ¿De qué manera el análisis multiespectral y multitemporal permiten la valoración	OE1: Explicar de qué manera el análisis multiespectral y multitemporal permiten la valoración multidimensional del	HE1: El análisis multiespectral y multitemporal permiten la valoración multidimensiona		Valoración multidimensional del impacto de los metales pesados en el lago Junín en el	Calidad ambiental	Calidad del agua	LMP/%Valoración		SMEWW – APHA – AWWA – WEF		

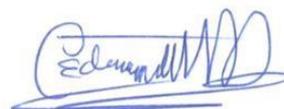
multidimensional del impacto del cobre en el lago Junín en el periodo 2015 - 2020?	impacto del cobre en el lago Junín en el periodo 2015 – 2020	del impacto del cobre en el lago Junín en el periodo 2015 – 2020	VARIABLE 2	periodo 2015 - 2020			Muestra: Metales pesados, Cu, Pb, Zn en el intervalo 2015-2020 y de los PC		
PE2: ¿De qué manera el análisis multiespectral y multitemporal permiten la valoración multidimensional del impacto del plomo en el lago Junín en el periodo 2015 – 2020?	OE2: Explicar de qué manera el análisis multiespectral y multitemporal permiten la valoración multidimensional del impacto del plomo en el lago Junín en el periodo 2015 – 2020	HE2: El análisis multiespectral y multitemporal permiten la valoración multidimensional del impacto del plomo en el lago Junín en el periodo 2015 – 2020			Calidad paisajística	Calidad visual		% Valoración	Escala de Likert
PE3. ¿De qué manera el análisis multiespectral y multitemporal permiten la valoración multidimensional del impacto del zinc en el lago Junín en el periodo 2015 – 2020?	OE3. Explicar de qué manera el análisis multiespectral y multitemporal permiten la valoración multidimensional del impacto del zinc en el lago Junín en el periodo 2015 – 2020	HE3. El análisis multiespectral y multitemporal permiten la valoración multidimensional del impacto del zinc en el lago Junín en el periodo 2015 – 2020			Riqueza biológica	Flora		% Valoración	Muestreo: No probabilístico
								Escala de Likert	

Nota: La matriz de consistencia integra las preguntas de investigación, con los objetivos y las hipótesis.

Anexo N° 2: Ficha de Registro de Series Multitemporales

Distribución multitemporal del Cu/Pb/Zn (Área lago Junín =529.426Km2)		
Series	Area (m2)	Area (%)
2015 A	0000.00	00.00
2015 B	0000.00	00.00
2016 A	0000.00	00.00
2016 B	0000.00	00.00
2017 A	0000.00	00.00
2017 B	0000.00	00.00
2018 A	0000.00	00.00
2018 B	0000.00	00.00
2019 A	0000.00	00.00
2019 B	0000.00	00.00
2020 A	0000.00	00.00

Elaboración propia



CESAR EDUARDO CARRERA SAAVEDRA
GEÓGRAFO
Registro CGP N° 194

Anexo N° 3: Ficha de Registro de Niveles y concentración en mg/L

Niveles de concentración del Cu/Pb/Zn (mg/L)			
Año	Época húmeda	Época seca	Media
2015	0.000	0.000	0.000
2016	0.000	0.000	0.000
2017	0.000	0.000	0.000
2018	0.000	0.000	0.000
2019	0.000	0.000	0.000
2020	0.000	0.000	0.000
Promedio	0.000	0.000	0.000
Desviación estándar.	0.000	0.000	0.000

Elaboración propia

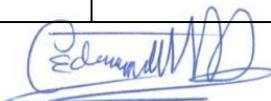


CESAR EDUARDO CARRERA SAAVEDRA
GEÓGRAFO
Registro CGP N° 194

Anexo N° 4: Ficha de Registro de Recolección de muestras en los puntos de control

Series	Coordenadas UTM	Metales pesados	Muestreo Directo	Muestreo espectral
M1	E:000000 N:0000000	Plomo	0.000	0.000
		Cobre	0.000	0.000
		Zinc	0.000	0.000
M2	E:000000 N:0000000	Plomo	0.000	0.000
		Cobre	0.000	0.000
		Zinc	0.000	0.000
M3	E:000000 N:0000000	Plomo	0.000	0.000
		Cobre	0.000	0.000
		Zinc	0.000	0.000
		Promedio	0.000	0.000

Elaboración propia



CESAR EDUARDO CARRERA SAAVEDRA
GÉOGRFO
Registro CGP N° 194

Anexo N° 5: Ficha cuestionario de encuesta 1

CUESTIONARIO 1

INSTRUCCIONES:

Este cuestionario presenta 5 preguntas que hacen referencia a cómo percibes el grado de impacto de los metales pesados en la calidad ambiental, en la calidad paisajística y en la riqueza biológica del lago Junín. Para responder debes escoger y marcar con una "X" una de las alternativas de respuesta, teniendo en cuenta que cada número significa lo siguiente:

0 NO AFECTA	1 AFECTA LEVEMENTE	2 AFECTA MODERADAMENTE	3 AFECTA SEVERAMENTE
----------------	--------------------------	------------------------------	----------------------------

El objetivo de este cuestionario es que nos ayudes a conocer mejor la magnitud de la problemática del impacto ambiental, diciéndonos cómo afectan los metales pesados la calidad del lago Junín, sé sincero en tus respuestas y no dejes ninguna pregunta sin contestar. Recuerda que **NO EXISTEN RESPUESTAS CORRECTAS O INCORRECTAS**, sólo responde de forma espontánea a todas las situaciones. Gracias por tu colaboración.

Id	Interrogaciones	0 No afecta	1 Afecta levemente	2 Afecta moderadament e	3 Afecta severamente
P 1	¿En qué medida el Zn afecta la calidad del agua del lago Junín?				
P 2	¿En qué medida el Zn afecta la calidad visual del paisaje del lago Junín?				
P 3	¿En qué medida el Zn afecta la calidad escénica del paisaje del lago Junín?				
P 4	¿En qué medida el Zn afecta la flora acuática del lago Junín?				
P 5	¿En qué medida el Zn afecta la fauna acuática del lago Junín?				



CESAR EDUARDO CARRERA SAAVEDRA
GEÓGRAFO
Registro CGP N° 194

Anexo N°6: Ficha cuestionario 2

CUESTIONARIO 2

INSTRUCCIONES:

Este cuestionario presenta 5 preguntas que hacen referencia a cómo percibes la frecuencia del impacto de los metales pesados en la calidad ambiental, en la calidad paisajística y en la riqueza biológica del lago Junín. Para responder debes escoger y marcar con una "X" una de las alternativas de respuesta, teniendo en cuenta que cada número significa lo siguiente:

0 NUNCA OCURRE	1 OCURRE OCASIONALMENTE	2 OCURRE FRECUENTEMENTE	3 OCURRE EN FORMA CONTINUA
----------------------	-------------------------------	-------------------------------	-------------------------------------

El objetivo de este cuestionario es que nos ayudes a conocer mejor la frecuencia de la problemática del impacto ambiental, diciéndonos cómo afectan los metales pesados la calidad del lago Junín, sé sincero en tus respuestas y no dejes ninguna pregunta sin contestar. Recuerda que **NO EXISTEN RESPUESTAS CORRECTAS O INCORRECTAS**, sólo responde de forma espontánea a todas las situaciones. Gracias por tu colaboración.

Id	Interrogaciones	0 Nunca ocurre	1 Ocurre ocasionalmente	2 Ocurre frecuentemente	3 Ocurre en forma continua
P1	¿Con qué frecuencia ocurre el impacto de los metales pesados en la calidad del agua del lago Junín?				
P2	¿Con qué frecuencia ocurre el impacto de los metales pesados en la calidad visual del paisaje del lago Junín?				
P3	¿Con qué frecuencia ocurre el impacto de los metales pesados en la calidad escénica del paisaje del lago Junín?				

P4	¿Con qué frecuencia ocurre el impacto de los metales pesados en la flora acuática del lago Junín?				
P5	¿Con qué frecuencia ocurre el impacto de los metales pesados en la fauna acuática del lago Junín?				

Anexo N° 7: Instrumento Opinión de Experto

I. DATOS GENERALES:

Apellidos del Informante	Nombres del informante	Cargo o Institución donde labora	Función
CARRERA SAAVEDRA	Cesar Eduardo	Constructower SAC	Especialista en Medio Ambiente
Título: Geógrafo e ingeniero civil			

II. ASPECTOS DE VALIDACION

Coloque el porcentaje, según el intervalo.

INDICADORES	CRITERIOS	DEFICIENTE 00-20%				REGULAR 21-40%				BUENA 41-60%				MUY BUENA 61-80%				EXCELENTE 81-100%				PROMEDIO		
		0	6	11	16	21	26	31	36	41	46	51	56	61	66	71	76	81	86	91	96			
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100			
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje apropiado.																	81					81	
2. OBJETIVIDAD	Esta expresado en conductas observables en una organización.																78						78	
3. ACTUALIDAD	Adecuado al avance de la ciencia y tecnología.																		83				83	
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica coherente.																		81				81	
5. SUFICIENCIA	Comprende los aspectos (indicadores, sub escalas, dimensiones) en cantidad y calidad.																		81				81	
6. INTENCIONALIDAD	Adecuado para valorar la influencia de la VI en la VD o la relación entre ambas, con determinados sujetos y contexto.																		83				83	
7. CONSISTENCIA	Basado en aspectos teórico - científicos.																			80				80
8. COHERENCIA	Entre los índices, indicadores y las dimensiones.																			80				80
9. METODOLOGIA	La estrategia responde al propósito del diagnóstico.																			81				81

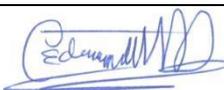
III. OPINION DE APLICABILIDAD:

Procede su Aplicación.

Procede su Aplicación previo levantamiento de las observaciones que se adjuntan. No procede su aplicación.

X

PROMEDIO DE VALORACION:

14/12/2022	09792944	 CESAR EDUARDO CARRERA SAAVEDRA GEOGRAFO Registro CGP N° 194	965662610
Lugar y Fecha	D.N.I. N°	Firma del Experto	Teléfono

Anexo N° 8: Normas ECA

10

NORMAS LEGALES

Miércoles 7 de junio de 2017 / El Peruano

Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias

DECRETO SUPREMO
N° 004-2017-MINAM

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

CONSIDERANDO:

Que, el numeral 22 del artículo 2 de la Constitución Política del Perú establece que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida;

Que, de acuerdo a lo establecido en el artículo 3 de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, en adelante la Ley, el Estado, a través de sus entidades y órganos correspondientes, diseña y aplica, entre otros, las normas que sean necesarias para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidas en la Ley;

Que, el numeral 31.1 del artículo 31 de la Ley, define al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) como la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente; asimismo, el numeral 31.2 del artículo 31 de la Ley establece que el ECA es obligatorio en el diseño de las normas legales y las políticas públicas, así como un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental;

Que, de acuerdo con lo establecido en el numeral 33.1 del artículo 33 de la Ley, la Autoridad Ambiental Nacional dirige el proceso de elaboración y revisión de ECA y Límites Máximos Permisibles (LMP) y, en coordinación con los sectores correspondientes, elabora o encarga las propuestas de ECA y LMP, los que serán remitidos a la Presidencia del Consejo de Ministros para su aprobación mediante Decreto Supremo;

Que, en virtud a lo dispuesto por el numeral 33.4 del artículo 33 de la Ley, en el proceso de revisión de los parámetros de contaminación ambiental, con la finalidad de determinar nuevos niveles de calidad, se aplica el principio de gradualidad, permitiendo ajustes progresivos a dichos niveles para las actividades en curso;

Que, de conformidad con lo establecido en el literal d) del artículo 7 del Decreto Legislativo N° 1013, Ley de Creación, Organización, y Funciones del Ministerio del Ambiente, este ministerio tiene como función específica elaborar los ECA y LMP, los cuales deberán contar con la opinión del sector correspondiente y ser aprobados mediante Decreto Supremo;

Que, mediante Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM

publicación de Proyectos Normativos y difusión de Normas Legales de Carácter General, aprobado por Decreto Supremo N° 001-2009-JUS; en virtud de la cual se recibieron aportes y comentarios al mismo;

De conformidad con lo dispuesto en el numeral 8 del artículo 118 de la Constitución Política del Perú, así como el numeral 3 del artículo 11 de la Ley N° 29158, Ley Orgánica del Poder Ejecutivo;

DECRETA:

Artículo 1.- Objeto de la norma

La presente norma tiene por objeto compilar las disposiciones aprobadas mediante el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, el Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM y el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM, que aprueban los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, quedando sujetos a lo establecido en el presente Decreto Supremo y el Anexo que forma parte integrante del mismo. Esta compilación normativa modifica y elimina algunos valores, parámetros, categorías y subcategorías de los ECA, y mantiene otros, que fueron aprobados por los referidos decretos supremos.

Artículo 2.- Aprobación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua

Apruébase los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, que como Anexo forman parte integrante del presente Decreto Supremo.

Artículo 3.- Categorías de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua

Para la aplicación de los ECA para Agua se debe considerar las siguientes precisiones sobre sus categorías:

3.1 Categoría 1: Poblacional y recreacional

a) Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable

Entiéndase como aquellas aguas que, previo tratamiento, son destinadas para el abastecimiento de agua para consumo humano:

- A1. Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección

Entiéndase como aquellas aguas que, por sus características de calidad, reúnen las condiciones para ser destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano con simple desinfección, de conformidad con la normativa vigente.

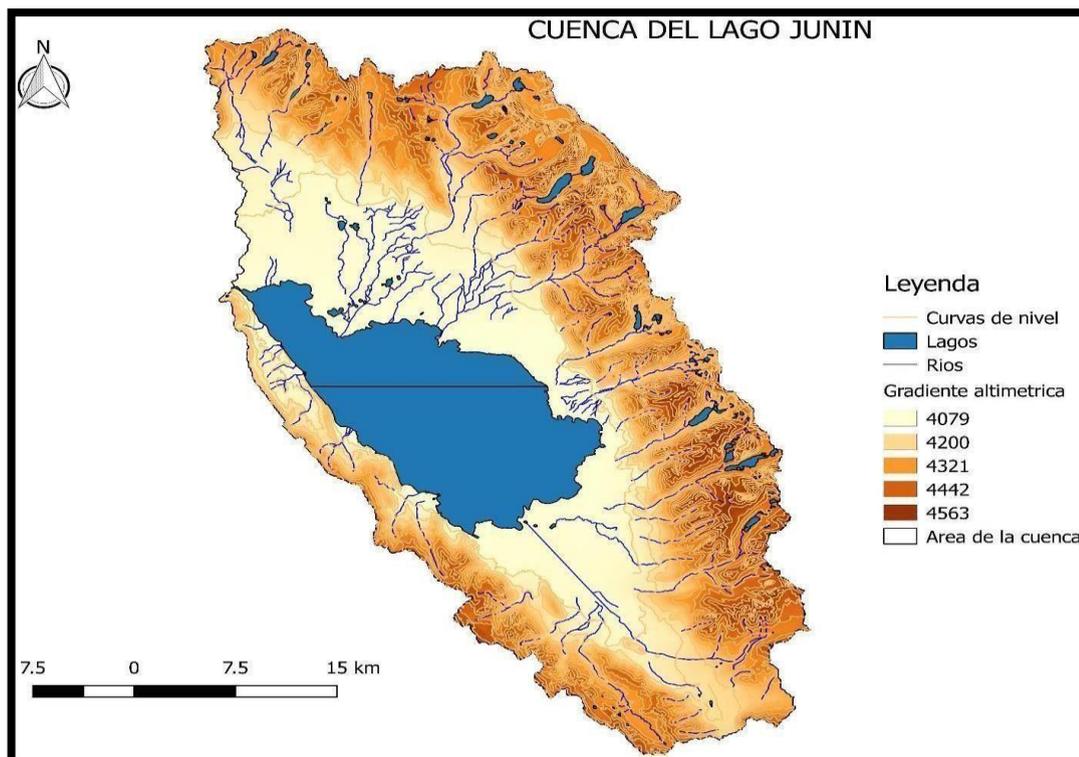
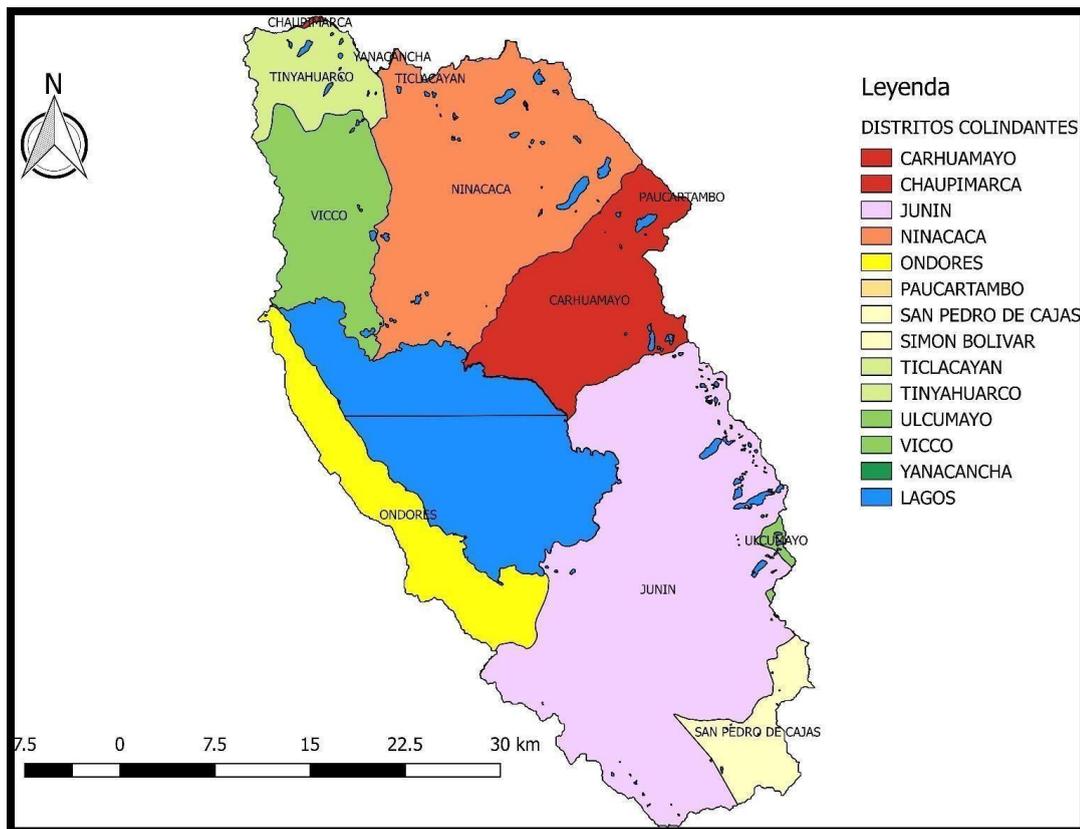
- A2. Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano, sometidas a un tratamiento convencional, mediante dos o

Categoría 4: Conservación del ambiente acuático

Parámetros	Unidad de medida	E1: Lagunas y lagos	E2: Ríos		E3: Ecosistemas costeros y marinos	
			Costa y sierra	Selva	Estuarios	Marinos
FÍSICOS- QUÍMICOS						
Aceites y Grasas (MEH)	mg/L	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Cianuro Libre	mg/L	0,0052	0,0052	0,0052	0,001	0,001
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	20 (a)	20 (a)	20 (a)	**	**
Clorofila A	mg/L	0,008	**	**	**	**
Conductividad	(μ S/cm)	1 000	1 000	1 000	**	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	5	10	10	15	10
Fenoles	mg/L	2,56	2,56	2,56	5,8	5,8
Fósforo total	mg/L	0,035	0,05	0,05	0,124	0,062
Nitratos (NO ₃) (c)	mg/L	13	13	13	200	200
Amoniaco Total (NH ₃)	mg/L	(1)	(1)	(1)	(2)	(2)
Nitrógeno Total	mg/L	0,315	**	**	**	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	\geq 5	\geq 5	\geq 5	\geq 4	\geq 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,8 - 8,5	6,8 - 8,5
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	\leq 25	\leq 100	\leq 400	\leq 100	\leq 30
Sulfuros	mg/L	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	Δ 3	Δ 2	Δ 2
INORGÁNICOS						
Antimonio	mg/L	0,64	0,64	0,64	**	**
Arsénico	mg/L	0,15	0,15	0,15	0,036	0,036
Bario	mg/L	0,7	0,7	1	1	**
Cadmio Disuelto	mg/L	0,00025	0,00025	0,00025	0,0088	0,0088
Cobre	mg/L	0,1	0,1	0,1	0,05	0,05
Cromo VI	mg/L	0,011	0,011	0,011	0,05	0,05
Mercurio	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Níquel	mg/L	0,052	0,052	0,052	0,0082	0,0082
Plomo	mg/L	0,0025	0,0025	0,0025	0,0081	0,0081
Selenio	mg/L	0,005	0,005	0,005	0,071	0,071
Talio	mg/L	0,0008	0,0008	0,0008	**	**
Zinc	mg/L	0,12	0,12	0,12	0,081	0,081
ORGÁNICOS						
Compuestos Orgánicos Volátiles						
Hidrocarburos Totales de Petróleo	mg/L	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006
BTEX						
Benceno	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Hidrocarburos Aromáticos						
Benzo(a)Pireno	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Antraceno	mg/L	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004
Fluoranteno	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Bifenilos Policlorados						

Anexo N° 9: Mapas



Base de datos

Anexo N° 10: Alfa de Cronbach para los datos muestrales del Cu

Estadísticos total-elemento

	Media de la escala si se elimina el elemento	Varianza de la escala si se elimina el elemento	Correlación elemento-total corregida	Correlación múltiple al cuadrado	Alfa de Cronbach si se elimina el elemento
Calidad del agua	33,72	28,410	,297	.	,656
D1V2	33,72	28,410	,297	.	,656
Calidad visual	33,64	28,358	,323	.	,652
Calidad escenica	33,78	28,502	,262	.	,662
D2V2	31,30	24,827	,371	.	,641
Flora	33,82	31,049	,038	.	,696
Fauna	33,60	28,082	,367	.	,645
D3V2	31,30	27,194	,208	.	,681
Influencia V1-V2	24,08	14,361	1,000	.	,393

Estadísticos de fiabilidad

Alfa de Cronbach	Alfa de Cronbach basada en los elementos tipificados	N de elementos
,672	,626	9

Nota: El nivel de confiabilidad de los datos muestrales del cobre y del instrumento de medición son aceptables con 0.672.

Anexo N° 11: Alfa de Cronbach para datos del Pb

	Media de la escala si se elimina el elemento	Varianza de la escala si se elimina el elemento	Correlación elemento-total corregida	Alfa de Cronbach si se elimina el elemento
Calidad del agua	31,64	36,684	,301	,692
D1V2	31,64	36,684	,301	,692
Calidad visual	31,68	36,263	,306	,691
Calidad escénica	31,52	37,602	,225	,703
D2V2	29,36	33,378	,271	,707
Flora	31,60	37,429	,223	,703
Fauna	31,48	35,234	,436	,673
D3V2	29,24	31,941	,394	,676
Influencia V1-V2	22,56	18,292	1,000	,466

Estadísticos de fiabilidad

Alfa de Cronbach	N de elementos
,704	9

Nota: El nivel de confiabilidad de los datos muestrales del plomo y del instrumento de medición son de buena calidad con 0.704.

Anexo N° 12: Alfa de Cronbach para los datos del Zn

	Media de la escala si se elimina el elemento	Varianza de la escala si se elimina el elemento	Correlación elemento-total corregida	Alfa de Cronbach si se elimina el elemento
Calidad del agua	32,54	52,580	,283	,809
D1V2	32,54	52,580	,283	,809
Calidad visual	32,50	49,929	,602	,786
Calidad escénica	32,62	51,342	,333	,805
D2V2	30,20	44,571	,534	,783
Flora	32,70	49,031	,516	,788
Fauna	32,60	49,510	,490	,791
D3V2	30,38	41,751	,657	,764
Influencia V1-V2	23,28	25,430	1,000	,701

Estadísticos de fiabilidad

Alfa de Cronbach	N de elementos
,807	9

Nota: El nivel de confiabilidad de los datos muestrales del zinc y del instrumento de medición son de buena calidad con 0.807.

Anexo N° 13: Prueba de alfa de Cronbach para datos frecuencia de metales pesados

	Media de la escala si se elimina el elemento	Varianza de la escala si se elimina el elemento	Correlación elemento-total corregida	Alfa de Cronbach si se elimina el elemento
Calidad del agua	32,62	44,077	,375	,783
D1V2	32,62	44,077	,375	,783
Calidad visual	32,48	46,622	,241	,795
Calidad escénica	32,50	44,827	,303	,790
D2V2	30,12	41,414	,435	,776
Flora	32,62	42,281	,510	,769
Fauna	32,46	42,947	,520	,769
D3V2	30,22	35,849	,637	,745
Influencia V1-V2	23,24	22,186	1,000	,664

Estadísticos de fiabilidad

Alfa de Cronbach	N de elementos
,790	9

Nota: Los datos de frecuencia para los metales pesados son alta confiabilidad toda vez que alfa de Cronbach llega a 0.790.

Anexo 14: Tabla de correlación de Pearson

$r = 1$	correlación perfecta.
$0'8 < r < 1$	correlación muy alta
$0'6 < r < 0'8$	correlación alta
$0'4 < r < 0'6$	correlación moderada
$0'2 < r < 0'4$	correlación baja
$0 < r < 0'2$	correlación muy baja
$r = 0$	correlación nula

Nota: Fuente: Tabachnick, F., & Fidell, L. (2013). Multivariate statistics. Pearson. NY.

Anexo 15: Tabla de Alfa de Cronbach

Rangos del Alfa de Cronbach

Alfa de Cronbach	Consistencia Interna
$\alpha \geq 0,9$	Excelente
$0,8 \leq \alpha < 0,9$	Buena
$0,7 \leq \alpha < 0,8$	Aceptable
$0,6 \leq \alpha < 0,7$	Cuestionable
$0,5 \leq \alpha < 0,6$	Pobre
$\alpha < 0,5$	Inaceptable

Nota: Fuente: UCLA (2022). What Does Cronbach's Alpha Mean? | SPSS FAQ.

Disponible en: <https://stats.oarc.ucla.edu/spss/faq/what-does-cronbachs-alpha-mean/>

Frost, J (2022). Cronbach's Alpha: Definition, Calculations & Example. Disponible en:

<https://statisticsbyjim.com/basics/cronbachs-alpha/>

Panel fotográfico

Anexo N° 16: Toma de muestras en el lago Junín





Anexo N° 17: Toma de encuestas a los pobladores aledaños al lago Junín







Anexo N° 18: Panorama paisajístico y escénico



Anexo N° 19: Flora y fauna



Resultados de laboratorio

Anexo N° 20: Resultados de las muestras analizadas en el laboratorio

Certificado



La Dirección de Acreditación del Instituto Nacional de Calidad – INACAL, en el marco de la Ley N° 30224, OTORGA el presente certificado de Renovación de la Acreditación a:

R-LABS.A.C.

Laboratorio de Ensayo

En su sede ubicada en: Asoc. De Vivienda Cruz de Motupe, MZ. B, Lt.04, distrito de Villa el Salvador, provincia de Lima y departamento de Lima.

Con base en la norma

NTP-ISO/IEC 17025:2017 Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y Calibración

Facultándolo a emitir Informes de Ensayo con Símbolo de Acreditación. En el alcance de la acreditación otorgada que se detalla en el DA-acr-06P-21F que forma parte integral del presente certificado llevando el mismo número del registro indicado líneas abajo.

Fecha de Renovación: 18 de febrero de 2020

Fecha de Vencimiento: 17 de febrero de 2024

ESTELA CONTRERAS JUGO
Directora, Dirección de Acreditación - INACAL

Cédula N° : 099-2020-INACAL/DA

Contrato N° : 006-2020-INACAL-DA

Registro N° : LE - 103

Fecha de emisión: 27 de febrero de 2020

El presente certificado tiene validez con su correspondiente Alcance de Acreditación y cédula de notificación dado que el alcance puede estar sujeto a ampliaciones, reducciones, actualizaciones y suspensiones temporales. El alcance y vigencia debe confirmarse en la página web www.inacal.gob.pe/acreditacion/categoria/acreditados al momento de hacer uso del presente certificado.

La Dirección de Acreditación del INACAL es firmante del Acuerdo de Reconocimiento Multilateral (MLA) del Inter American Accreditation Cooperation (IAAC) e International Accreditation Forum (IAF) y del Acuerdo de Reconocimiento Mutuo con la International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC).

DA-acr-01P-02M Ver. 02

Anexo N° 21: Informe de ensayo



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE-103



LABORATORIO DE ENSAYO R-LAB S.A.C.

Registro N° LE-103

INFORME DE ENSAYO N° 2110077A

Cliente:	JUAN FELICIANO NIETO SANTOS / JORGE DAVID ALARCON ALVAREZ
Dirección del cliente:	MZ. N1 LOTE 20 LOS OLIVOS DE PRO
Usuario:	NO APLICA
Lugar de Muestreo:	SAN PEDRO DE PARI
Tipo de Matriz y/o Producto:	AGUA NATURAL SUPERFICIAL - LAGO
Muestra Realizado por:	JUAN FELICIANO NIETO SANTOS
Procedimiento de Muestras:	NO APLICA
Referencia al Plan de Muestreo:	NO APLICA
Número de Muestras:	03
Fecha de Recepción:	11-10-2021
Fecha de Inicio y Término de Ensayo:	11-10-2021 al 13-10-2021

"Este laboratorio está acreditado de acuerdo con la norma internacional reconocida ISO / IEC 17025. Esta acreditación demuestra la competencia técnica para un alcance definido y el funcionamiento de un sistema de gestión de calidad de laboratorio".

Fecha de emisión: 15-10-2021


Victor Enrique Caso Caceres
11-10-2021
LE-103/21

El presente informe de ensayo no podrá ser reproducido parcialmente, excepto en su totalidad y con la aprobación escrita de R-LAB S.A.C.
Los resultados solo corresponden a las muestras sometidas a los ensayos, no pudiendo extenderse a ninguna otra unidad que no haya sido analizada.
Estos resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
Toda consulta o comentario físico al presente informe de ensayo será emitido en un nuevo documento y con la declaración "Modificación al Informe de Ensayo".
Atenc. de Vivanda Cruz de Motupe, MZ. B, Lote D4 - Villa el Salvador, Lima - Perú / Tel.: +51 877 8533 / Móvil: 972 733 365 / 913 012 206.
Correo: rlaboratorio1@gmail.com / Visitarnos en www.rlab.com

Fecha de emisión del informe: 15-10-2021

Página 2 de 2

Anexo N° 22: Orden de trabajo de ensayos de laboratorio



F-SCAF-07
Revisión:03
Fecha:20-08-2021
Página 1 de 1

ORDEN DE TRABAJO N° 2110011

COPIA N° 01
CONTROLADA

Datos del cliente				
Cliente:	SECAME S.A.C.			
Dirección del Cliente:	CAL.4 DE NOVIEMBRE NRO. 371 A.H. MARTIR JOSE OLAYA LIMA - LIMA -			
RUC:	20606370653	Teléfono:	993935655 / 918039448	
Atención a:	Sr. Juan Nieto Santos	Correo:	nsantosjuan@gmail.com	
N° de Cotización:	2108115	Fecha de OT:	6 de octubre de 2021	
Servicio de Muestreo:	CLIENTE	N° de Estaciones:	3	
Lugar de Muestreo:	Lago Junin			
Contacto en campo:	Sr. Juan Nieto Santos	Teléfono:	993935655 / 918039448	
Tipo de Matriz y/o Producto	Tipo(s) de Ensayo(s)	Método de Ensayo	N° de Muestras	Observación
ANSLo	Plomo Total	SMEWW – APHA – AWWA – WEF Part. 3030 E, 3030 B y 3111 B. 23rd Ed.	3	R-LAB
ANSLo	Cobre Total	SMEWW – APHA – AWWA – WEF Part. 3030 E, 3030 B y 3111 B. 23rd Ed.	3	R-LAB
ANSLo	Zinc Total	SMEWW – APHA – AWWA – WEF Part. 3030 E, 3030 B y 3111 B. 23rd Ed.	3	R-LAB

Transporte proporcionado por:

R-LAB S.A.C.

Alimentación proporcionado por:

R-LAB S.A.C.

Condiciones de servicio:

*El cliente recogerá los materiales y entregará las muestras en las instalaciones del laboratorio.

Revisado por:

MATRIZ: **AGUA NATURAL:** Superficial Lago (ANSLo), Superficial Laguna (ANSLa), Río (ANSR); Subterránea: Manantial (ANSbM) / Pozo (ANSbP), Termal (ANSbT); **AGUA SALINA:** Mar (ASAM), Salobre (ASAO); **AGUA RESIDUAL:** Doméstico (ARD), Industrial (ARI), Municipal (ARM); **AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO:** Bebida Potable (ACHPo), Mesa (ACHM), Envasada (ACHE), Piscina (ACHP), Laguna Artificial (ACHLa); **AGUA DE PROCESO:** Circulación o enfriamiento (APE), Alimentación para calderas (APAC), Calderas (APC), Lixiviación (APL), Purificada (APP), Inyección y reinyección (APIR); **AIRE:** (H); **TUBO ADSORBENTE:** (TA); **SOLUCIÓN CAPTADORA:** (SC); **FILTRO:** (F); **METEOROLOGÍA:** (MET); **EMISIONES EN FUENTES ESTACIONARIAS:** (EM); **SUELO:** Suelo (S), Lodo (SL), Sedimentos (SSED), Biosólidos (BS); **SEDIMENTOS:** Epicontinental (SSEDE), Estuarinos (SSEDES), Marinos (SSEDM); **RUIDO:** (RU); **SUPERFICIES:** Inertes regulares (SIR), Inertes irregulares (SII) Vivas (SV); **OTROS:** (O)

Revisado por:	Aprobado por: