

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Ambiental

"MODELAMIENTO DEL ÍNDICE BIOLOGICAL MONITORING WORKING PARTY EN CINCO CUENCAS HIDROGRÁFICAS DEL PERÚ APLICANDO EL PROGRAMA ARCGIS 10.6"

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniera Ambiental

Autoras:

Carlyn Tamara Reyes Mondragon
Katterine Michael Perez Soriano

Asesora:

Dr. Sc. Irma Geralda Horna Hernández

DEDICATORIA

*A mis padres Augusto y Lili por darme una
formación en buenos valores; A mi esposo
Antonio por darme el impulso para salir
adelante en el desarrollo de este proyecto
y a mi hijo Franco por ser mi motivación
para superarme día a día y quien ha sido
un motor en el cumplimiento de esta meta
tan anhelada.*

Carlyn Reyes.

*A mi madre Nancy por ser mi mayor
motivación pues sin ella y su bendición que a
diario a lo largo de mi vida me protege y me lleva por el
camino del bien no lo habría logrado.*

Katterine Perez

AGRADECIMIENTO

*A los docentes por sus enseñanzas, dedicación
y tiempo para motivarnos a desarrollarnos
como profesionales en la Universidad
Privada del Norte, a mis amigos Pedro
y Cristian por su apoyo constante
en el desarrollo de este proyecto.*

Carlyn Reyes

*A Dios por permitirme tan buena experiencia dentro
de la Universidad Privada del Norte y convertirme
en una profesional de lo que tanto me apasiona,
gracias a cada maestro que hizo parte de este
proceso integral de formación.*

Katterine Perez

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS	6
RESUMEN	8
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	9
1.1. Realidad Problemática.....	9
1.2. Antecedentes.....	11
1.3. Marco teórico.....	21
1.4. Justificación.....	29
1.5. Formulación de problema.....	29
1.6. Objetivos.....	30
1.7. Hipótesis.....	30
CAPÍTULO II. MÉTODO	31
2.1. Tipo de investigación.....	31
2.2. Población y muestra.....	31
2.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	31
2.4. Procedimiento.....	32
2.5. Aspectos éticos.....	50
CAPÍTULO III. RESULTADOS	51
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	58
4.1. Discusión.....	58
4.2. Conclusiones.....	60
REFERENCIAS	61
ANEXOS	64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Coordenadas UTM del Río Chillón y Río Mala	13
Tabla 2 Índice BMWP/Col Determinado por Estación y Temporada	13
Tabla 3 Coordenadas UTM de las Seis Estaciones de Muestreo	15
Tabla 4 Puntos de Monitoreo de la Cuenca del Río Perené	16
Tabla 5 Clasificación de la Calidad del Agua según el Índice BMWP/Col.....	18
Tabla 6 Puntos de Muestreo del Río Llaucano	19
Tabla 7 Resultados del Índice BMWP/Col del Río Llaucano.....	19
Tabla 8 Ubicación de las estaciones de muestreo en la Cuenca baja del río Utcubamba	20
Tabla 9 Valores BMWP/Col del Río Utcubamba.....	20
Tabla 10 Puntajes de las familias de macroinvertebrados acuáticos para el índice BMWP/Col.	27
Tabla 11 Calidad biológica del agua - Índice BMWP/Col	28
Tabla 12 Clasificación de Cuerpos de agua superficiales	33

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Índice BMWP/Col en las seis estaciones del río Lurín	15
Figura 2. Datos espaciales y temáticos	21
Figura 3. Capas (layers)	22
Figura 4. Selección de shapefile en el programa ArcGIS	25
Figura 5. Áreas de estudio	32
Figura 6. Datos geográficos y biológicos ordenados en una tabla Excel.....	35
Figura 7. Selección de la herramienta "Add XY Data"	36
Figura 8. Conversión de la tabla de Excel a shapefile.	37
Figura 9. Selección de la herramienta "Add Data"	37
Figura 10. Selección de la herramienta "Select Feature"	38
Figura 11. Selección de la herramienta "Clip"	39
Figura 12. Selección de las capas para el recorte.....	40
Figura 13. Selección de propiedades de una "capa"	41
Figura 14. Edición de una capa utilizando la opción "propiedades"	42
Figura 15. Selección de la herramienta "Create TIN"	43
Figura 16. Selección de la capa "curvas de nivel"	44
Figura 17. Selección de la herramienta "TIN to Raster".....	45
Figura 18. Selección del formato "TIN".....	46
Figura 19. Selección de la herramienta "Hillshade"	47
Figura 20. Selección del formato "DEM".....	47
Figura 21. Mapa editado mediante la opción "Layout View".....	48

Figura 22. Selección del formato de exportación del mapa digitalizado.....	49
Figura 23. Mapa de calidad del agua en la cuenca Lurín.....	52
Figura 24. Mapa de calidad del agua en la cuenca Chillón	53
Figura 25. Mapa de calidad del agua en la cuenca Mala	54
Figura 26. Mapa de calidad del agua en la cuenca Perené.....	55
Figura 27. Mapa de calidad del agua en la Intercuenca Alto Marañón IV	56
Figura 28. Mapa de calidad del agua en la cuenca Utcubamba	57

RESUMEN

La presente investigación se centró en la búsqueda de información sobre estudios realizados en diferentes regiones del Perú como la costa, sierra y selva, donde determinaron la calidad del agua con uno de los métodos biológicos más representativos como el Biological Monitoring Working Party (BMWP), esto con la finalidad de generar mapas ambientales y su posterior interpretación. Los resultados del índice BMWP/Col en las cinco cuencas de interés, clasifica la calidad del agua en buena, aceptable, dudosa y crítica. El objetivo fue elaborar el modelo del índice BMWP/Col de las cinco cuencas hidrográficas del Perú aplicando las herramientas que ofrece el programa ArcGIS 10.6. Para ello, como primer paso se identificaron los datos geográficos y ambientales de las áreas de interés, luego se descargaron los datos del portal GEO GPS PERÚ en formato shapefile(.shp), seguido convertimos las coordenadas UTM de las áreas de estudio a coordenadas geográficas mediante la plataforma Atlas Cajamarca y asimismo digitalizamos los datos en Excel y procesamos la información; finalmente delimitamos, estructuramos y modelamos las áreas de estudio.

Palabras clave: Calidad del agua, mapas ambientales, coordenadas geográficas, método biológico.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1 Realidad Problemática

La creciente automatización durante las últimas décadas ha ido invadiendo diversos ámbitos, tanto el científico, como el de la vida cotidiana. Esto no resulta ajeno en las Ciencias Geográficas. El incremento en el volumen y la complejidad de la información medio ambiental ha conducido al uso de las computadoras para el almacenamiento, manipulación y tratamiento de éstos. Entre las aplicaciones geográficas se tienen el empleo de sistemas de gestión de base de datos, aplicaciones estadísticas, la cartografía automatizada y lo más sofisticado se da en los Sistemas de Información Geográfica SIG. (Nagata, 1996). Los SIG se han convertido en una herramienta esencial para el manejo y tratamiento de los datos geográficos en multitud de aplicaciones y problemas prácticos: gestión de grandes infraestructuras físicas, realización y explotación de grandes bases de datos catastrales, planificación urbana, zonificación ecológica económica, ordenamiento territorial, manejo de problemas del transporte, sistemas de ayuda a la navegación, entre otros. (Meza, 2006). Relativo al estudio del agua, el empleo de la tecnología SIG se orienta a tres líneas de investigación: recursos hídricos, calidad del agua y riesgos de inundación. (Conesa, 1996).

El Perú es el octavo país con mayor disponibilidad hídrica en el mundo; sin embargo, el uso indebido de este recurso provoca el deterioro de la calidad y cantidad, esto debido a las actividades antrópicas de captación de las aguas (centrales hidroeléctricas, consumo humano, minería, industria, petróleo, agricultura y otros usos) y la evacuación a las mismas (efluentes líquidos urbanos, hospitales, minería, industria, narcotráfico, agroquímicos a través del drenaje, desechos sólidos en riberas de ríos, entre otros). En la última década, la información sobre la

calidad de las aguas de las cuencas hidrográficas que hay en el país, ha ido aumentando debido a los diversos estudios realizados mediante análisis fisicoquímicos y microbiológicos; asimismo cabe mencionar que los investigadores tienen preferencias por los análisis microbiológicos ya que una de las metodologías más recurrentes para determinar la calidad del agua son en su mayoría basadas en el estudio de los macroinvertebrados acuáticos, esto debido a que su muestreo no es difícil y es de bajo costo; para ello los investigadores pueden emplear diversos métodos biológicos, tal como uno de los métodos más representativos como el índice Biological Monitoring Working Party, este método cuenta con diferentes adaptaciones que para el desarrollo de esta investigación hemos tomado en cuenta la adaptación colombiana ya que dicha adaptación se aplicó en diferentes cuerpos de agua superficiales del país.

Estos resultados de análisis microbiológicos son importantes ya que con el uso correcto de esta información y las herramientas que nos ofrecen los softwares de sistemas de información geográfica nos permitirá realizar el seguimiento del estado de la calidad de las aguas superficiales y su variación con el tiempo.

Por lo anterior, el propósito de esta investigación es aplicar las herramientas que ofrece el programa ArcGIS 10.6 a cinco estudios que fueron realizados en diferentes regiones del Perú con uno de los métodos biológicos más resaltantes (el índice BMWP), con la finalidad de contribuir como una fuente de información para mantener la calidad del agua de las diferentes cuencas hidrográficas y asimismo clasificar los cuerpos de aguas superficiales mediante la resolución jefatural N° 202 emitida en el año 2010 por la Autoridad nacional del agua.

1.2 Antecedentes

Antecedentes internacionales

Existen diversas investigaciones previas a la presente, que abordan el tema de los softwares de sistemas de información geográfica (SIG), la mayoría de ellas tienen una gran importancia por la relación que guarda con las ciencias ambientales debido a la información valiosa que se puede obtener. En el ámbito internacional en un estudio realizado en España se aplicaron las herramientas del SIG en la caracterización de las aguas de dos acuíferos; en dicha investigación se procesaron datos geográficos (localización de los puntos de muestreo) y ambientales (muestreo de cloro, sodio, magnesio, conductividad e ión nitrato). Para ello, muestrearon diecinueve puntos los cuales fueron analizados en un laboratorio, posteriormente dichos resultados fueron procesados en ArcMap con la técnica de interpolación generando de esta manera mapas temáticos ambientales para su posterior interpretación y estudio de la evolución con el tiempo. (Hernández, 2017).

Asimismo, otra investigación realizada en Ecuador por Carrillo (2018), en la microcuenca del río Lolita, subcuenca alta del río Sábalo realizaron un análisis espacial del índice de calidad de agua y suelo a través de un mapa cartográfico usando las herramientas del programa ArcGIS; previo análisis al cuerpo de agua obtuvieron siete puntos de muestreo en los cuales realizaron dos muestreos por dos meses, en el caso del recurso agua presentaron un índice de calidad "aceptable", el cual fue representado espacialmente con la finalidad que se genere planes de gestión adecuada para mantener la calidad del agua

Antecedentes nacionales

En el ámbito nacional, se requiere investigaciones que muestren frecuencia del uso de softwares de sistemas de información geográfica (SIG) en temas como la calidad del agua a través de métodos biológicos, por ello en la presente investigación mencionaremos cinco estudios realizados en diferentes regiones del Perú en los cuales determinaron la calidad del agua aplicando uno de los métodos biológicos más destacados como es el índice Biological Monitoring Working Party (BMWP), dichos datos biológicos y geográficos serán de gran importancia para el objetivo y desarrollo de la presente investigación.

En la región costa, Bulnes (2019), determinó la calidad del agua de los ríos Chillón y Mala con diferentes índices bióticos, evaluándolos por estación y temporada. En primer lugar, definieron la ubicación de las estaciones, en las cuales establecieron 11 puntos de muestreo, seis se ubicaron en el río Chillón y cinco en el río Mala, los muestreos se desarrollaron en temporada seca y lluviosa; uno de los índices que resaltaremos de este estudio serán los resultados del índice BMWP/Col.

Tabla 1

Coordenadas UTM del Río Chillón y Río Mala

Cuerpo de Agua	Estación	Coordenadas UTM, Zona 18L		Altitud (msnm)
		Este	Norte	
Río Chillón	RC-01	314,62	8,724,356	1881
	RC-02	316,304	8,726,206	2075
	RC-03	319,933	8,729,101	2368
	RC-04	323,295	8,733,727	2712
	RC-05	323,761	8,734,800	2854
	RC-06	324,392	8,735,422	2885
Río Mala	RM-01	363,835	8,640,171	1613
	RM-02	363,382	8,642,944	1782
	RM-03	365,116	8,645,396	1867
	RM-04	367,814	8,656,899	2642
	RM-05	365,442	8,662,090	3129

Nota. Las coordenadas UTM fueron tomadas dentro de la cuenca Chillón y Mala, ubicadas en el departamento de Lima, el área de estudio fue realizado por Bulnes (2019), estos datos geográficos serán posteriormente convertidos en coordenadas geográficas con la finalidad ser ingresadas en el programa ArcGIS.

Tabla 2

Índice BMWP/Col Determinado por Estación y Temporada

Río	Estación	Temporada	BMWP/Col
Río Chillón	RC-01	TLL	96
		TS	100
	RC-02	TLL	92
		TS	94
	RC-03	TLL	97

Río	Estación	Temporada	BMWP/Col
Río Mala	RC-04	TS	101
		TLL	128
		TS	68
	RC-05	TLL	97
		TS	59
		TLL	90
	RC-06	TS	109
		TLL	59
	RM-01	TS	81
		TLL	105
	RM-02	TS	88
		TLL	88
		TS	102
	RM-03	TLL	105
		TS	77
TLL		97	
RM-04	TS	103	
	TS	103	

Nota. Estos resultados fueron evaluados en temporada lluviosa (TLL) y temporada seca (TS) por Bulnes (2019), dichos resultados seran posteriormente promediados para determinar la calidad del agua de acuerdo a la tabla 11 con la finalidad de procesar información en ArcGIS.

De la misma manera un estudio realizado por Chumpitaz (2017), quien evaluó el grado de contaminación del agua de la cuenca baja del río Lurín aplicando el índice biótico BMWP modificado versión Colombia (BMWP/Col) e índice de EPT (Ephemeroptera, Plecóptera, Trichoptera), muestreó seis estaciones, del cual resaltaremos los resultados aplicados con la metodología del índice BMWP/Col. En la estación 01 obtuvieron una calidad de agua “crítica”, en las estaciones 02, 05 y 06 una calidad del agua “dudosa” y por último en las estaciones 03 y 04 una calidad del agua “aceptable”.

Tabla 3

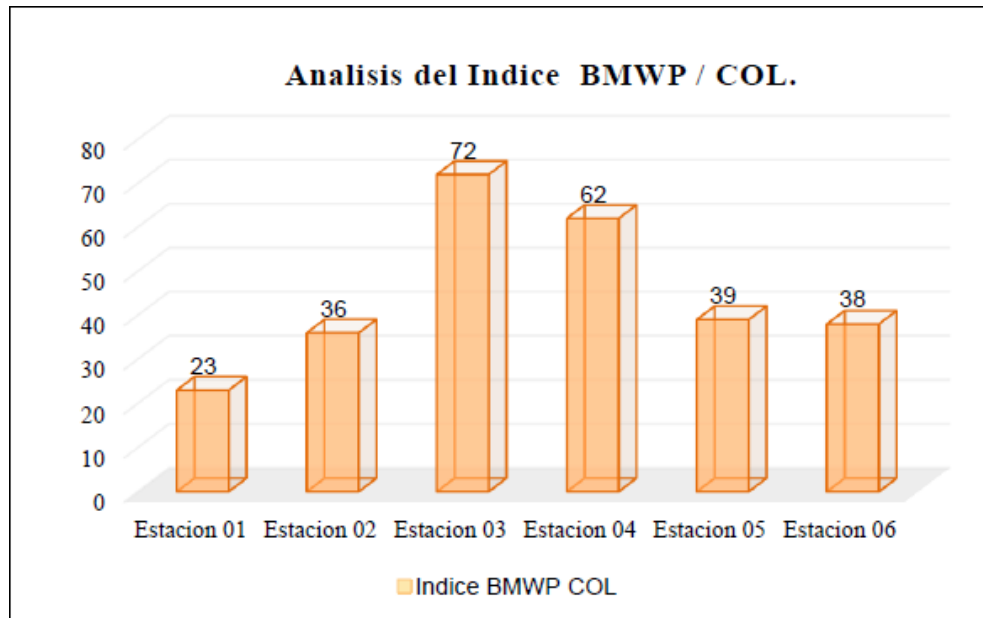
Coordenadas UTM de las Seis Estaciones de Muestreo

Estación	Coordenadas UTM	
	LATITUD	LONGITUD
E 1	-12.269930	-76.901026
E 2	-12.268588	-76.899781
E 3	-12.266282	-76.898150
E 4	-12.256519	-76.893320
E 5	-12.254790	-76.893459
E 6	-12.251112	-76.893751

Nota. El estudio se realizó en el río Lurín ubicado en el departamento de Lima, las seis estaciones de muestreo fueron tomadas por Chumpitaz (2017).

Figura 1

Índice BMWP/Col en las seis estaciones del río Lurín



Nota. El gráfico representa los puntajes obtenidos para el índice BMWP/Col. Tomada de (Chumpitaz, 2017)

Por otro lado, en la región sierra, un estudio realizado en el departamento de Junín por Bullón (2016), caracterizó la calidad de las aguas de la cuenca del río Perené mediante la utilización de índices biológicos complementado con parámetros fisicoquímicos, donde primeramente definió nueve puntos de monitoreos, un punto de muestreo en el río Tarma, tres en el río Tulumayo, uno en el río Chanchamayo, dos en el río Paucartambo y dos en el río Perené, uno de los índices que aplicó y que es de suma importancia para la presente investigación, fue el índice BMWP/col en las que obtuvo muestras de calidad de agua “aceptable” y “dudosa”.

Tabla 4

Puntos de Monitoreo de la Cuenca del Río Perené

Pto. monitoreo*	Pto. monitoreo**	Descripción	Coordenadas UTM (WGS84)			Altitud (msnm)
			Zona	Este	Norte	
P1	RTarm1	Río Tarma altura del puente Victoria - San Ramón	18L	459911	8770763	820
P2	RTulu1	Río Tulumayo, altura del puente colgante Santa Ana - Vitoc	18L	463505	8760849	2379
P3	RTulu2	Río Tulumayo, 50 metros aguas abajo del efluente de la cancha de relave SIMSA - Vitoc	18L	463621	8762529	1257
P4	RTulu3	Río Tulumayo, altura del puente San Ramón - San Ramón	18L	461799	8770424	824

Pto. monitoreo*	Pto. monitoreo**	Descripción	Coordenadas UTM (WGS84)			Altitud (msnm)
			Zona	Este	Norte	
P5	RChan1	Río Chanchamayo, altura del puente Kimiri - La Merced	18L	465452	8780330	800
P6	RPau1	Río Paucartambo altura del puente Paucartambo - San Luis	18L	467876	8801728	774
P7	RPau2	Río Paucartambo altura del puente Perene - San Luis	18L	469180	8792353	769
P8	RPe1	Río Perene altura del puente Noruega, a Perene	18L	475369	8789477	627
P9	Rpe2	Río Perene altura de Pichanaki, puente Shinpitinani - Pichanaki	18L	518569	8789627	501










Nota. El estudio se realizó en la provincia de Chanchamayo en diferentes ríos, el estudio fue realizado por Bullón (2016).

*. Código de puntos de monitoreo según cadena de custodia.

**. Código de puntos de monitoreo trabajados en el presente estudio.

Tabla

Clasificación de la Calidad del Agua según el Índice BMWP/Col

	Punto	BMWP/Col	clase	Calidad de agua	
P1	RTarm1	82	II	Aceptable	
P2	RTulu1	52	III	Dudosa	
P3	RTulu2	40	III	Dudosa	
P4	RTulu3	79	II	Aceptable	
P5	RChan1	81	II	Aceptable	
P6	RPau1	46	III	Dudosa	
P7	RPau2	80	II	Aceptable	
P8	RPe1	40	III	Dudosa	
P9	Rpe2	61	II	Aceptable	

Nota. El estudio presenta aguas ligeramente contaminadas y aguas moderadamente contaminadas. Este estudio fue realizado por Bullón (2016).

De la misma forma, Saavedra (2019) aplicó diferentes índices biológicos, uno de los que utilizó para determinar la calidad del agua del río Llaucano fue el índice BMWP/col, donde obtuvo como resultado en sus tres puntos de muestreo entre los meses de mayo y agosto aguas de calidad "dudosa".

Tabla 6

Puntos de Muestreo del Río Llaucano

Puntos de muestreo	Coordenadas UTM	
	Este	Norte
P1	773093.506	9253745.11
P2	774348.492	9259656.1
P3	774736.527	926131.817

Nota. El estudio se realizó en el departamento de Cajamarca en el río principal de la Cuenca Llaucano. Este estudio fue realizado por Saavedra (2019).

Tabla 7

Resultados del Índice BMWP/Col del Río Llaucano

Meses	Mayo	Junio	Julio	Agosto	BMWP/Col
Puntos	Calidad				Dudosa
	BMWP/Col	BMWP/Col	BMWP/Col	BMWP/Col	Promedio
P1	53	73	53	60	60
P2	53	67	36	53	52
P3	31	50	42	42	41

Nota. El estudio fue monitoreado durante cuatro meses por Saavedra (2019), donde el promedio de los puntajes del índice dio como resultado una calidad de agua "dudosa".

Finalmente, en la región selva, un estudio realizado en el río Utcubamba por Valcárcel (2011), quien eligió seis estaciones de muestreo ubicadas tanto en el río principal como en sus afluentes, las cuales fueron evaluadas durante la temporadas seca y lluviosa con diferentes índices bióticos. Como resultado con la metodología del índice BMWP/Col encontró en la estación 03 una

calidad de agua “aceptable” mientras que en las otras cinco restantes la calidad del agua fue “buena”.

Tabla 8

Ubicación de las Estaciones de Muestreo en la Cuenca Baja del Río Utcubamba

Estación	Nombre de río o quebrada	Tipificación	Coordenadas UTM		Altitud (msnm)
			Zona 17S		
			ESTE	NORTE	
E 1	Utcubamba	Río control	807131	9351881	552
E 2	Utcubamba	Río de estudio	771352	9388191	340
E 3	Alenguía	Quebrada de estudio	776901	9371308	404
E 4	La Peca	Quebrada de estudio	772406	9377206	426
E 5	Jamalca	Quebrada control	806786	9351192	630
E 6	Honda	Quebrada control	799386	9355478	511

Nota. El estudio fue realizado en el departamento de Amazonas, el cual fue realizado por Valcárcel (2011), presentó una dificultad en la quebrada Honda por dificultades en el acceso durante la época húmeda.

Tabla 9

Valores BMWP/Col del Río Utcubamba.

Estación	BMWP/Col	Clase	Calidad
E1	146	I	Buena
E2	135	I	Buena
E3	69	II	Aceptable
E4	117	I	Buena

Estación	BMWP/Col	Clase	Calidad
E5	116	I	Buena
E6	185	I	Buena

Nota. El estudio fue realizado por Valcárcel (2011), quien determinó la clase y calidad del agua en la cuenca baja del río Utcubamba, departamento de Amazonas.

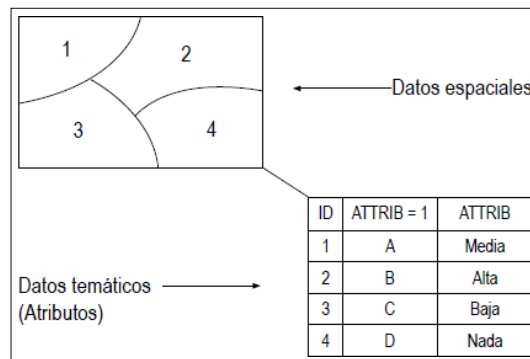
1.3 Marco teórico

a) *Sistemas de información geográfica (SIG)*

El SIG es una herramienta computacional compuesta por equipos, programas, datos georreferenciados y usuarios que requieren organizar, analizar automatizar procesos y producir información. (Meza, 2006). De acuerdo a Burrough (1986) citado por Meza (2006) se refiere al SIG como un sistema computarizado que permite la entrada, almacenamiento, representación, análisis de datos, así como la salida eficiente de información espacial (mapas) y atributos. (p.34).

Figura 2

Datos espaciales y temáticos



Nota. La figura representa información espacial introducida en un sistema computarizado. Tomado de (Meza, 2006)

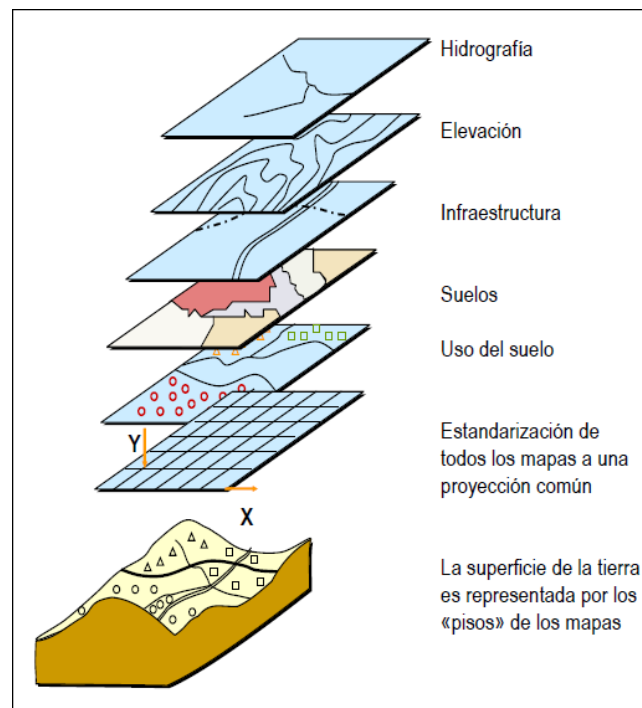
Para gestionar y analizar datos espaciales se debe cumplir los siguientes pasos:

- ✓ Introducir los datos espaciales en la computadora.
- ✓ Creación de una base de datos.
- ✓ Gestión y manipulación para interrogar a la base de datos.
- ✓ Análisis y generación de nueva información a partir de la base de datos.
- ✓ Representación cartográfica.

En general, la información espacial se representa en forma de "capas" (layers), en las que se describen la topografía, la disponibilidad de agua, los suelos, los bosques y praderas, el clima, la geología, la población, la propiedad de la tierra, los límites administrativos, la infraestructura. (Meza, 2006).

Figura 3

Capas (layers)



Nota. Representación de capas en la computadora. Tomado de (Meza, 2006)

b) Modelamiento cartográfico

Se refiere a la utilización de las funciones de análisis de un SIG bajo una secuencia lógica, de tal manera que se puedan resolver problemas espaciales complejos. Los modelos son dos compartimientos fundamentales de un SIG, la base de datos y la base de modelo (o reglas), sobre las cuales operan los sistemas manejadores de datos. Por lo tanto, los datos temáticos deben ser convertidos en información utilizable con propósitos específicos a través de una interpretación formalizada y procesos de evaluación. (Meza, 2006).

c) Datos geográficos

Los datos geográficos son entidades espacio-temporales que cuantifican la distribución, el estado y los vínculos de los distintos fenómenos u objetos naturales y sociales. Un dato se caracteriza por tener:

- ✓ Posición absoluta: sobre un sistema de coordenadas (x, y, z).
- ✓ Posición relativa: frente a otros elementos del paisaje (topología, incluido, adyacente, cruzado, entre otros).
- ✓ Figura geométrica que lo representa (punto, línea, polígono).
- ✓ Atributos que lo describen (características del elemento o fenómeno).

Desde la perspectiva tecnológica, los SIG deben ser capaces de manipular y analizar entidades, atributos, geometrías y topología de forma integrada. (Serrano, 2018)

d) Coordenadas UTM

El sistema de proyección universal transversal de Mercator (UTM) es una aplicación especializada de la proyección transversal de Mercator., sus unidades son los metros a nivel del mar, que es la base del sistema de referencia.

e) Coordenadas geográficas

Un sistema de coordenadas geográficas es un método para describir la posición de una ubicación geográfica en la superficie de la Tierra utilizando mediciones esféricas de latitud y longitud. (ESRI, 2016).

f) Representación digital de datos geográficos

La base de datos espacial SIG es una colección de datos georreferenciados en el espacio que funcionan como un modelo representativo de la realidad y está sujeto bajo reglas internacionales denominadas "modelo de datos". Los modelos de datos geográficos que se emplean con frecuencia en un SIG son el modelo ráster y el modelo vectorial. (Serrano, 2018)

- **Modelo Ráster:** Este modelo es una estructura Inter dinámica de las relaciones de vecindad entre los datos u objetos geográficos. La zona de interés o de evaluación se subdivide en mallas regulares de pequeñas celdas denominadas pixeles con un valor numérico atribuido a cada celda representando de esta manera un valor temático entre celda y celda.
- **Modelo Vectorial:** El modelo utiliza vectores definidos por pares de coordenadas relativas a algún sistema cartográfico para la descripción de los objetos y metadatos geográficos. Para poder implementar en un software, se requiere de relaciones entre estructuras de datos o tablas con datos ordenados de forma tabular

que contienen columnas comunes a partir de las cuales se pueden relacionar datos no comunes entre una y otra tabla o estructura.

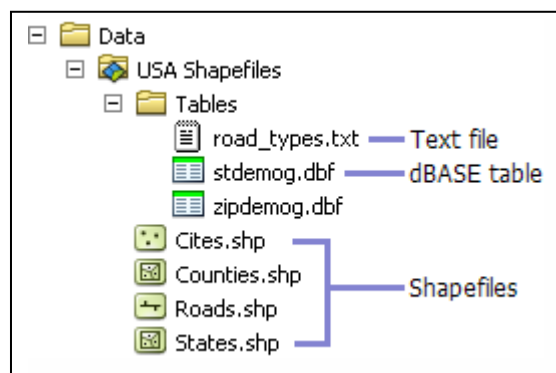
- **Modelo TIN:** Las TIN son una forma de datos geográficos digitales basados en vectores y se construyen mediante la triangulación de un conjunto de vértices (puntos). Los vértices están conectados con una serie de aristas para formar una red de triángulos. (ESRI, 2016)

g) *Shapefile*

Un shapefile es un formato sencillo y no topológico que se utiliza para almacenar la ubicación geométrica y la información de atributos de las entidades geográficas. Las entidades geográficas de un shapefile se pueden representar por medio de puntos, líneas o polígonos (áreas). El espacio de trabajo que contiene shapefiles también puede incluir tablas del dBASE, que pueden almacenar atributos adicionales que se pueden vincular a las entidades de un shapefile. (ESRI, 2016)

Figura 4

Selección de shapefile en el programa ArcGIS



Nota. La imagen muestra el almacenamiento de los shapefiles en ArcGIS. Tomada de (ESRI, 2016)

h) Biological monitoring working party (BMWP)

El Biological Monitoring Working Party (BMWP) se considera un método simple y rápido de evaluar calidad de agua, utilizando macroinvertebrados como bioindicadores, analizando hasta nivel de familia, con datos cuantitativos de presencia y ausencia. El puntaje va de 1 a 10 de acuerdo con la tolerancia de los diferentes grupos a la contaminación orgánica, siendo 10 el más sensible y 1 el más tolerante. El puntaje se asigna una vez por familia, independientemente de la cantidad de individuos o géneros encontrados. Posteriormente se suman los puntajes por familia encontrados en los puntos de muestreo, para calcular el índice y se evalúa el nivel de calidad de agua. (Roldán, 2016).

Tabla 27






Puntajes de las Familias de Macroinvertebrados Acuáticos Para el Índice BMWP/Col

Familia	Puntaje
Anomalopsychidae, Atriplectididae, Blepharoceridae, Calamoceratidae, Ptilodactylidae, Chordodidae, Gomphidae, Hidridae, Lampyridae, Lymnessiidae, Odontoceridae, Oligoneureiidae, Perlidae, Polythoridae, Psephenidae.	10
Ampullariidae, Dytiscidae, Ephemeridae, Euthyplociidae, Gyrinidae, Hydrobiosidae, Leptophlebiidae, Philopotamidae, Polycentropodidae, Xiphocentronidae.	9
Gerridae, Hebridae, Helicopsychidae, Hydrobiidae, Leptoceridae, Lestidae, Palaemonidae, Pleidae, Pseudothelphusidae, Saldidae, Simuliidae, Veliidae.	8
Baetidae, caenidae, Calopterygidae, Coenagrionidae, Corixidae, Dixidae, Dryopidae, Glossosomatidae, Hyalellidae, Hydroptilidae, Hydropsychidae, Leptohiphidae, Naucoridae, Notonectidae, Planariidae, Psychodidae, Scirtidae.	7
Aeshnidae, Ancyliidae, Corydalidae, Elmidae, Libellulidae, Limnichidae, Lutrichidae, Megapodagrionidae, Sialidae, Staphylinidae	6
Belostomatidae, Gelastocoridae, Hydropsychidae, Mesoveliidae, Nepidae, Planorbiidae, Pylalidae, Tabanidae, Thiaridae.	5
Chrysomelidae, Stratiomyidae, Haliplidae, Empididae, Dolycopodidae, Sphaeridae, Lymnaeidae, Hydraenidae, Hydrometridae, Noteridae.	4
Ceratopogonidae, Glossiphoniidae, Cyclobdellidae, Hydrophilidae, Physidae, Tipulidae.	3
Culicidae, Chironomidae, Muscidae, Sciomyzidae.	2
Tubificidae	1

Nota. La suma de estos puntajes debe llevarse a la tabla 11 para hallar los niveles de calidad del agua y su significado. (Roldán, 2016)

Tabla 11

Calidad Biológica del Agua - Índice BMWP/Col

Clase	Calidad	BMWP/Col	Significado	Color
I	Buena	>120 101-120	Aguas muy limpias a limpias.	
II	Aceptable	61-100	Aguas ligeramente contaminadas.	
III	Dudosa	36-60	Aguas moderadamente contaminadas	
IV	Crítica	16-35	Aguas muy contaminadas	
V	Muy crítica	<15	Aguas fuertemente contaminadas	

Nota. La tabla muestra las clases de calidad del agua del índice BMWP/Col, es el resultado que da al sumar la puntuación de las familias encontradas, de acuerdo con el puntaje obtenido se clasifica en distintas clases de agua. (Silva, 2008).

i) Calidad del agua

Se refiere a las características químicas, físicas, biológicas y radiológicas del agua. Es una medida de la condición del agua en relación con los requisitos de una o más especies bióticas o a cualquier necesidad humana o propósito. (Sistema de Información Ambiental Regional [SIAR] , s.f.)

j) Cuenca hidrográfica

De acuerdo a la Guía Metodológica para la formulación de Planes de Tratamiento de cauces para el control de inundaciones citado por la Autoridad Nacional del Agua

(ANA, s.f.), "Es un área delimitada por un límite topográfico bien definido (parte aguas). Es una zona geográfica donde las condiciones hidrológicas son tales que el agua se concentra en un punto en particular a partir del cual la cuenca se drena. Dentro de este límite topográfico, la cuenca presenta un complejo de suelos, geofomas, vegetación y uso de la tierra".

1.4 Justificación

Debido a los múltiples estudios realizados en diferentes cuerpos de agua con métodos biológicos, entre ellos el método Biological Monitoring Working Party (BMWP), hoy es más que necesario contar con herramientas que compile esta información para conservar el recurso agua.

En ese sentido, los sistemas de información geográfica (SIG) surge como una de las herramientas más importantes para el tratamiento de datos geográficos en problemas ambientales.

El programa ArcGIS 10.6 se constituye como una variable importante para visualizar la calidad del agua de diferentes cuencas hidrográficas del Perú. La calidad del agua con el método biológico BMWP clasifica dichos cuerpos de agua en "buena", "aceptable", "dudosa", "crítica" y "muy crítica", en ese sentido, la presente investigación garantiza la posibilidad de que se utilice estas herramientas en áreas de investigación que se enfoque en conservar la calidad del agua, generando así más maneras de utilizar las herramientas que ofrece el programa ArcGIS 10.6.

1.5 Formulación de problema

¿Cuál será el modelo para el índice BMWP/Col en las cinco cuencas hidrográficas del Perú aplicando el sistema de información geográfica ArcGIS 10.6?

1.6 Objetivos

1.6.1 *Objetivo general*

Elaborar el modelo del índice BMWP/Col de las cinco cuencas hidrográficas del Perú aplicando el sistema de información geográfica ArcGIS 10.6.

1.6.2 *Objetivos específicos*

- Identificar la clasificación de los cuerpos de agua de los cinco estudios mediante la resolución jefatural N° 202 – 2010 – ANA
- Clasificar los cuerpos de aguas de los cinco estudios según la tabla del índice BMWP/Col e insertar los resultados geográficos y biológicos en el programa ArcGIS 10.6.

1.7 Hipótesis

1.7.1 *Hipótesis general*

Mediante el modelamiento del programa ArcGIS se puede estimar el parámetro biológico de calidad de agua como el índice BMWP/Col.

1.7.2 *Hipótesis específicas*

- Se puede clasificar los cuerpos de agua para identificar las cuencas a las que pertenecen mediante la resolución jefatural N° 202-2010 emitida por la Autoridad Nacional del Agua.
- Por medio de los SIG con respecto al recurso agua se pueden identificar y analizar diversos aspectos como recursos hídricos, calidad de agua y riesgos de inundación.

CAPÍTULO II. MÉTODO

2.1 Tipo de investigación

La presente investigación es de tipo descriptivo, con diseño de investigación no experimental, con un enfoque cualitativo, ya que, es un diseño de investigación que no manipula variables ni realiza experimentos y se caracteriza porque utiliza la recolección de datos, para después analizarlos. (Hernández et al., 2014)

2.2 Población y muestra

2.2.1 Población:

La población de estudio serán las cinco cuencas hidrográficas representadas en mapas mediante las herramientas de ArcGIS 10.6.

2.2.2 Muestra:

Resultados del índice Biological Monitoring Working Party (BMWP) de cada una de las cuencas hidrográficas.

2.3 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

2.3.1 Técnicas

La presente investigación consiste en la recolección de información de estudios sobre el tema, en el que se resaltamos los datos geográficos, biológicos e hidrográficos para un posterior tratamiento adecuado de la información en el programa ArcGIS 10.6, y al mismo tiempo dar un enfoque respectivo del análisis del tema para la estructuración y construcción del modelo.

2.3.2 Instrumentos

- ✓ Software ArcGIS 10.6

- ✓ Plataforma Geoservidor del MINAM
- ✓ Plataforma GEOCATMIN
- ✓ Conversor de coordenadas

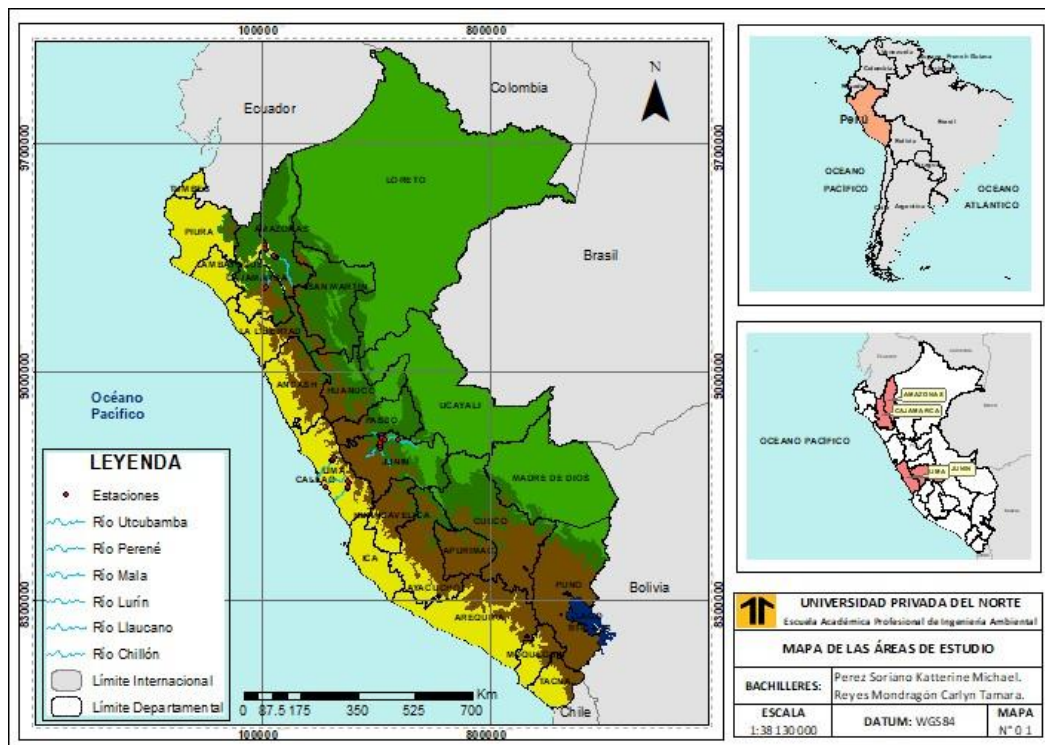
2.4 Procedimiento

2.4.1 Ubicación de las áreas de estudio

Las áreas de estudio se encuentran en diferentes regiones del Perú, en la región Costa tenemos a los ríos Lurín, Chillón y Mala; en la región Sierra, los ríos Llaucano y Perené; y finalmente en la región Selva el río Utcubamba.

Figura 5

Áreas de estudio



Nota. La figura muestra las áreas de estudio en las diferentes regiones del Perú.

Hidrología:

Según lo que indica la resolución jefatural N°202-2010-ANA, las áreas de estudio pertenecen a las siguientes cuencas hidrográficas.

Tabla 12

Clasificación de Cuerpos de Agua Superficiales

Id. de agua	Cuerpos de Agua	Categoría	Clase	Código de Cuenca	Cuenca a la que pertenece
1375534	Río Lurín	Categoría 3	Clase 3	1375534	Lurín
137556	Río Chillón	Categoría 1-A2	Clase 2	137556	Chillón
137552	Río Mala	Categoría 3	Clase 3	137552	Mala
49897	Río Llaucano	Categoría 3	Clase 3	49897	Intercuenca Alto Marañón IV
49954	Río Perené	Categoría 4	Clase Especial	49954	Perené
49954	Río Tarma	Categoría 3	Clase 3	49954	Perené
49954	Río Tulumayo	Categoría 3	Clase 3	49954	Perené
49954	Río Paucartambo	Categoría 3	Clase 3	49954	Perené
49954	Río Chanchamayo	Categoría 3	Clase 3	49954	Perené
49894	Río Utcubamba	Categoría 3	Clase 3	49894	Utcubamba

Nota. La tabla muestra las cuencas a las que pertenecen las áreas de estudio. (ANA, 2010)

2.4.2 Descarga de datos

El portal Geoservidor del MINAM y GEOCATMIN sirvieron de ayuda primordial para la representación de las cuencas hidrográficas en el programa ArcGIS 10.6, debido a que estos almacenan datos importantes como curvas de nivel, hidrología, límites internacionales, departamentales, etc., en formato shapefile (.shp).

2.4.3 Digitalización de los datos

Para la elaboración de mapas es necesario tener las coordenadas GPS de cada punto de muestreo, por ello convertimos las coordenadas UTM de los cinco estudios a coordenadas geográficas.

De este modo adjuntaremos esos datos en una tabla Excel que contenga las coordenadas geográficas en grados decimales y los resultados del índice BMWP/Col que se desea graficar (guardar en formato libro Excel 97-2003).

Figura

Datos geográficos y biológicos ordenados en una tabla Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H
	ESTACION	LONGITUD	LATITUD	CLASE	CALIDAD	VAL IBMWP	SIG	COLOR
2	RChi1	-76.69992	-11.53462	II	ACEPTABLE	98	LIG_CONT	VERDE
3	RChi2	-76.68431	-11.51799	II	ACEPTABLE	93	LIG_CONT	VERDE
4	RCh3	-76.65089	-11.49201	II	ACEPTABLE	99	LIG_CONT	VERDE
5	RCh4	-76.61984	-11.45036	II	ACEPTABLE	98	LIG_CONT	VERDE
6	RCh5	-76.61551	-11.44069	II	ACEPTABLE	78	LIG_CONT	VERDE
7	RChi6	-76.60970	-11.43510	II	ACEPTABLE	100	LIG_CONT	VERDE
8	RMa1	-76.25214	-12.29805	II	ACEPTABLE	70	LIG_CONT	VERDE
9	RMa2	-76.25618	-12.27236	II	ACEPTABLE	97	LIG_CONT	VERDE
10	RMa3	-76.24014	-12.25087	II	ACEPTABLE	95	LIG_CONT	VERDE
11	RMa4	-76.21486	-12.14698	II	ACEPTABLE	91	LIG_CONT	VERDE
12	RMa5	-76.23644	-12.09995	II	ACEPTABLE	100	LIG_CONT	VERDE
13	RLu1	-76.90103	-12.26993	IV	CRITICA	23	MUY_CONT	NARANJA
14	RLu2	-76.89978	-12.26859	III	DUDOSA	36	MOD_CONT	AMARILLO
15	RLu3	-76.89815	-12.26628	II	ACEPTABLE	72	LIG_CONT	VERDE
16	RLu4	-76.89332	-12.25652	II	ACEPTABLE	62	LIG_CONT	VERDE
17	RLu5	-76.89346	-12.25479	III	DUDOSA	39	MOD_CONT	AMARILLO
18	RLu6	-76.89375	-12.25111	III	DUDOSA	38	MOD_CONT	AMARILLO
19	RTarm1	-75.36711	-11.19668	II	ACEPTABLE	82	LIG_CONT	VERDE
20	RTulu1	-75.33431	-11.20938	III	DUDOSA	52	MOD_CONT	AMARILLO
21	RTulu2	-75.33323	-11.19418	III	DUDOSA	40	MOD_CONT	AMARILLO
22	RTulu3	-75.34983	-11.12276	II	ACEPTABLE	79	LIG_CONT	VERDE
23	RChan1	-75.31628	-11.03321	II	ACEPTABLE	81	LIG_CONT	VERDE
24	RPau1	-75.29390	-10.83971	III	DUDOSA	46	MOD_CONT	AMARILLO
25	RPau2	-75.28205	-10.92451	II	ACEPTABLE	80	LIG_CONT	VERDE
26	RPe1	-75.22543	-10.95057	III	DUDOSA	40	MOD_CONT	AMARILLO
27	Pipe2	-74.83005	-10.94925	II	ACEPTABLE	61	LIG_CONT	VERDE
28	RLLa1	-78.52954	-6.74503	III	DUDOSA	60	MOD_CONT	AMARILLO
29	RLLa2	-78.51846	-6.69155	III	DUDOSA	52	MOD_CONT	AMARILLO
30	RLLa3	-78.51503	-6.67654	III	DUDOSA	41	MOD_CONT	AMARILLO
31	RUtco01	-78.22657	-5.86666	I	BUENA	146	MUY_LIMP	AZUL
32	RUtco02	-78.55084	-5.53000	I	BUENA	135	MUY_LIMP	AZUL
33	RUtco03	-78.50014	-5.68237	II	ACEPTABLE	69	LIG_CONT	VERDE
34	RUtco04	-78.54092	-5.62924	I	BUENA	117	MUY_LIMP	AZUL
35	RUtco05	-78.22966	-5.86291	I	BUENA	116	MUY_LIMP	AZUL
36	RUtco06	-78.29661	-5.82450	I	BUENA	185	MUY_LIMP	AZUL

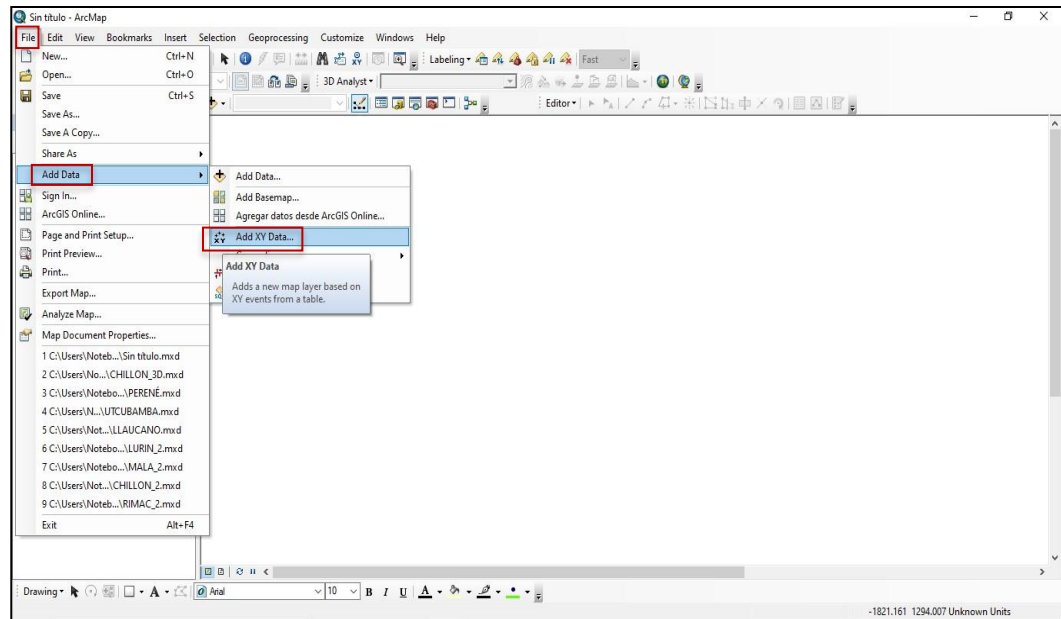
2.4.4 Ingreso de datos y procesamiento de la información

Para ingresar la tabla de Excel al programa ArcMap, usamos la herramienta “File”

> “Add Data” > “Add XY Data”.

Figura

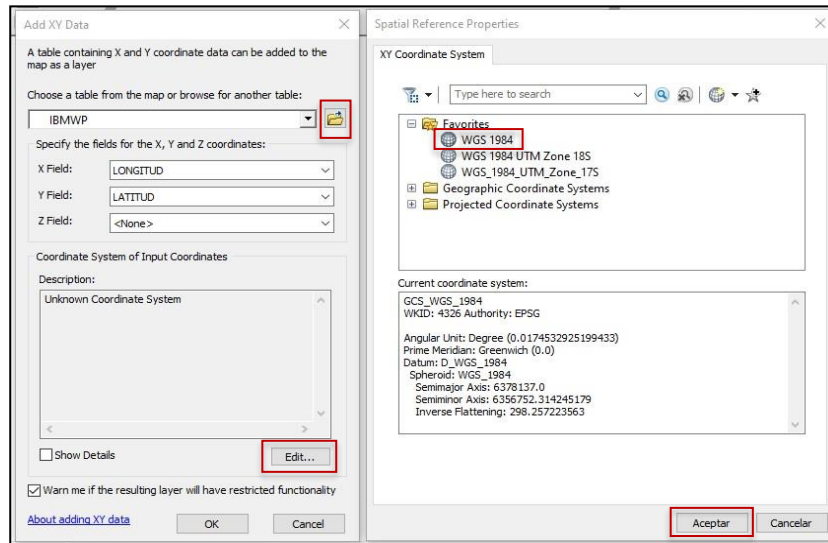
Selección de la herramienta "Add XY Data"



Ubicamos la carpeta donde esta almacenada nuestra tabla de Excel, luego observaremos que se llenan los campos “X” e “Y” con “longitud” y “latitud” respectivamente. Seleccionamos “Edit” y georreferenciamos en coordenadas geográficas WGS 1984, finalmente aplicamos y aceptamos.

Figura 8

Conversión de la tabla Excel a shapefile

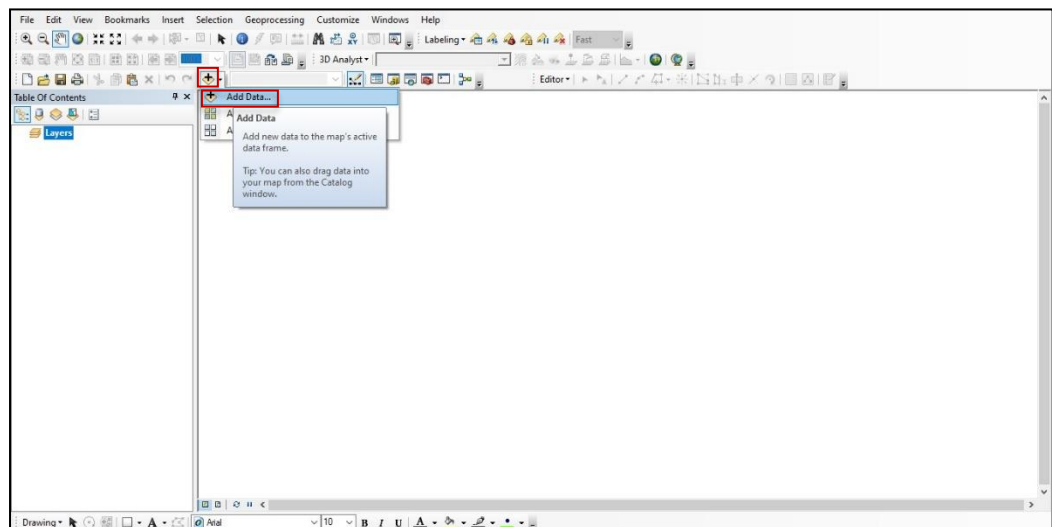


2.4.5 Delimitación de las áreas de estudio

Los datos son cargados en el programa ArcMap con la herramienta “Add Data” en la cual se busca los shapefile descargados en la plataforma GEO GPS PERÚ, como curvas de nivel, hidrología, limites internacionales, departamentales, etc.

Figura 9

Selección de la herramienta “Add Data”

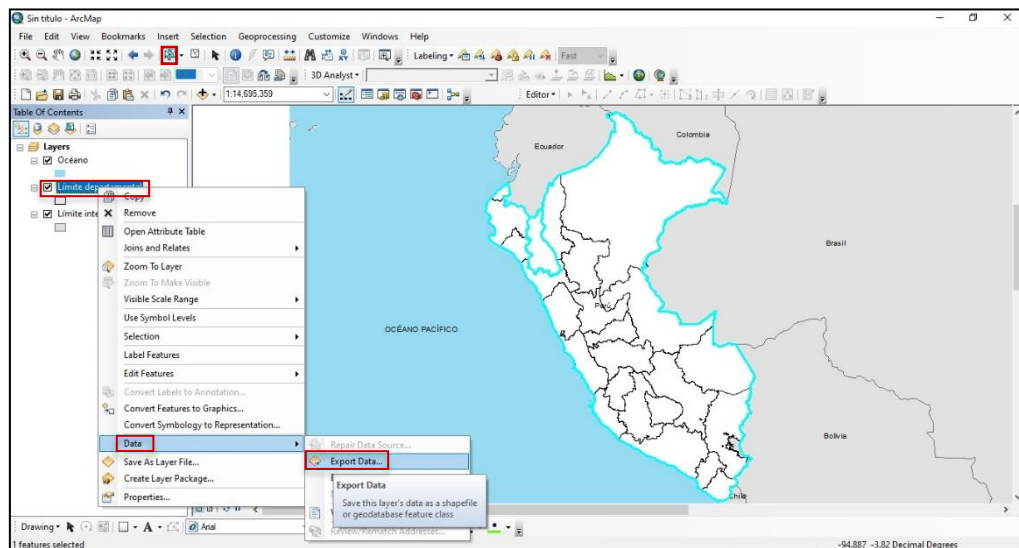


Para el proceso de la delimitación de las áreas de estudio se realizaron los siguientes pasos:

1. Con la herramienta "Select Features" seleccionamos el departamento donde está ubicada la cuenca; dentro de la capa del límite departamental presionamos la opción "Data" seguidamente de "Export data", esto con la finalidad de crear un nuevo shapefile. Los nuevos shapefile serán nombrados con los nombres: Lima, Cajamarca, Junín y Amazonas.

Figura 10

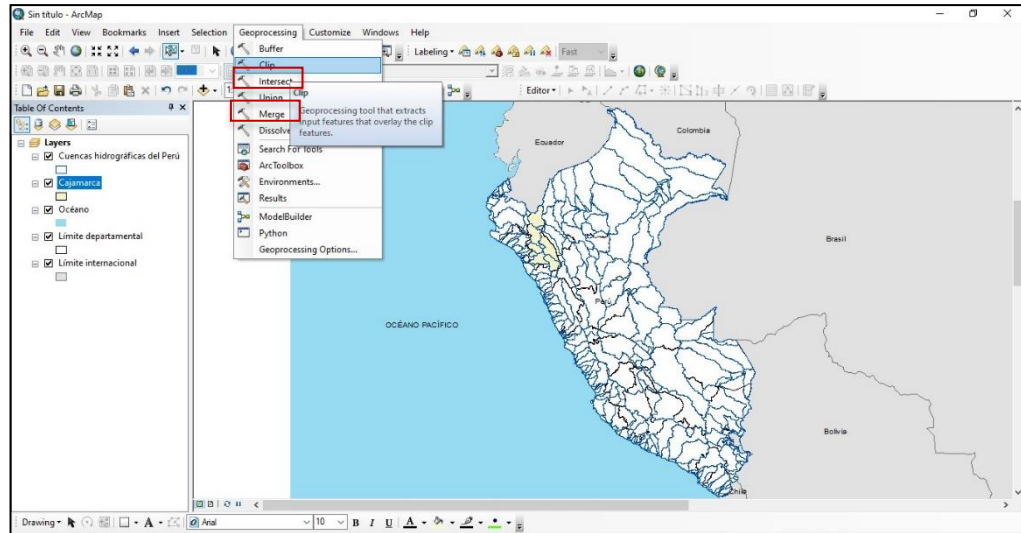
Selección de la herramienta "Select Feature"



2. En el momento de ingresar los shapefile de cuencas hidrográficas del Perú, curvas de nivel, ríos, etc., observaremos que las capas exceden los límites de las regiones de estudios de manera que vamos a realizar un "Clip" utilizando la herramienta "Geoprocessing" para quedarnos únicamente con las áreas de interés.

Figura 39

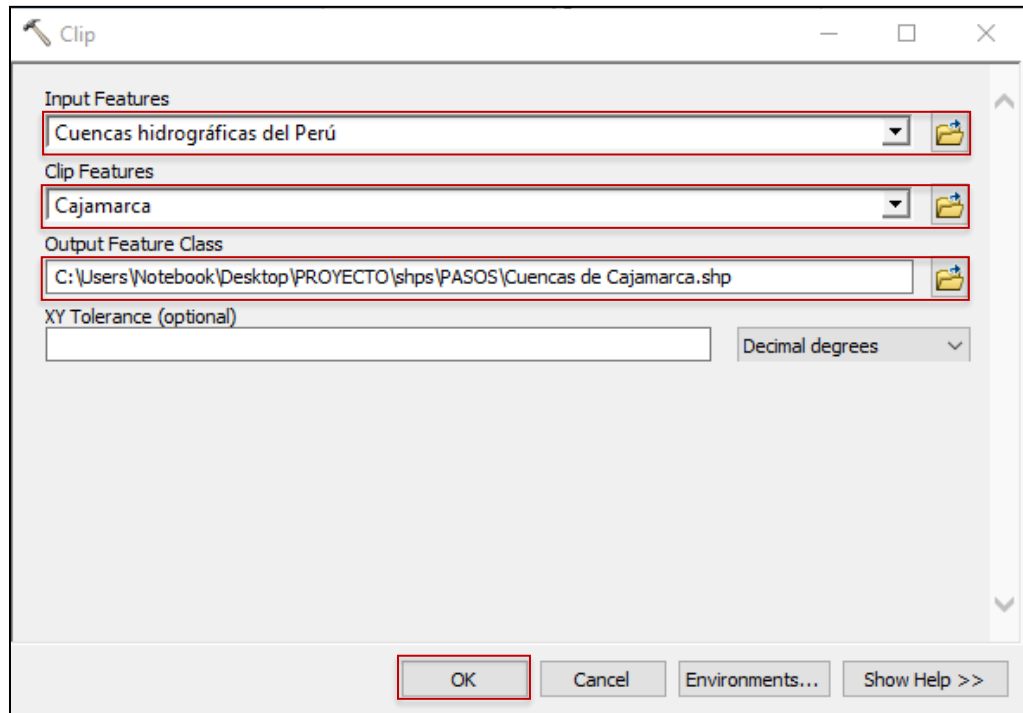
Selección de la herramienta "Clip"



Como capa de entrada "Input features" fijaremos la que queremos recortar, por ejemplo, la capa "Cuencas hidrográficas del Perú" y como capa recorte "Clip features" la que delimita el área de estudio "Cajamarca". Por último, asignaremos la ruta de guardado de la capa que se va a generar y pulsaremos en "OK". Esto Con la finalidad de generar los límites de las cuencas de interés.

Figura 12

Selección de las capas para el recorte.

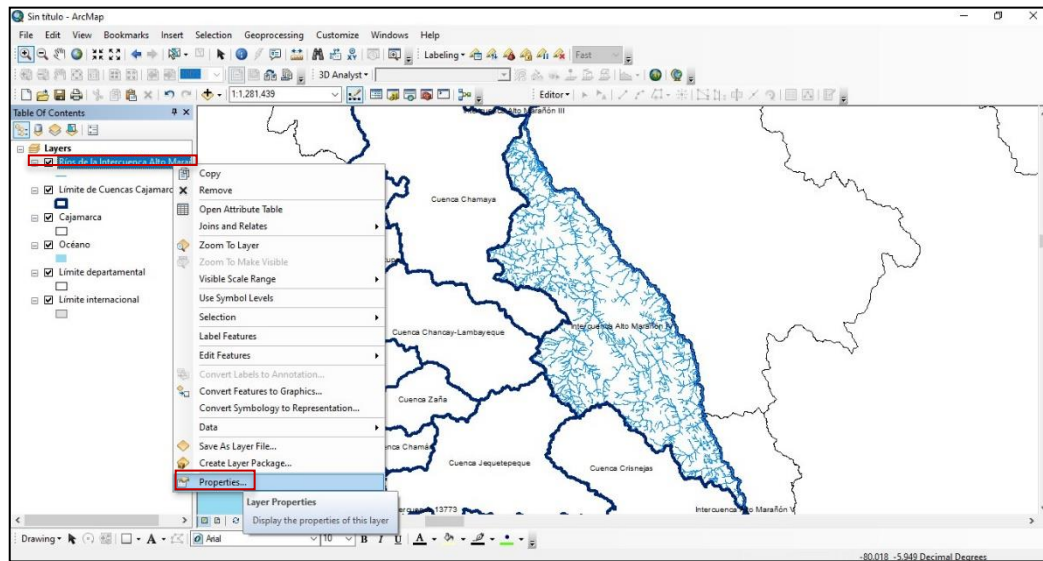


3. Repetimos el paso 1 y 2 para la delimitación de la red hidrográfica, con la finalidad de quedarnos con las áreas de interés que son los ríos que pertenecen a las cuencas Utcubamba, Perené, Llaucano o Intercuenca Alto Marañón IV, Lurín, Chillón y Mala.

4. Para una mejor visualización, dentro de las capas creadas anteriormente como “Ríos de la Intercuenca Alto Marañón IV”, seleccionamos la opción “Properties”.

Figura 13

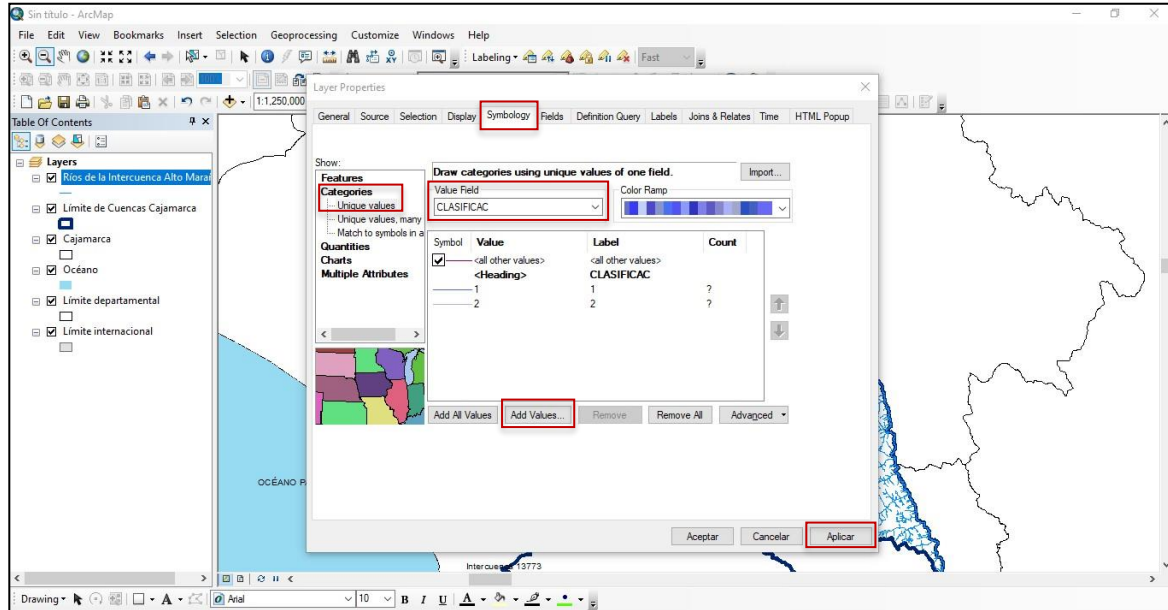
Selección de propiedades de una “capa”



Luego presionamos en “Symbology” > “Categories” > “Unique Values” y en la opción “Value Field” elegimos por “Clasificac”, posteriormente seleccionamos “All Values” para escoger “1” y “2”, donde “1” son ríos y “2” quebradas, finalmente aplicamos. Repetimos el mismo proceso para la edición de los ríos Perené, Utcubamba, Lurín, Chillón y Mala.

Figura 14

Edición de una capa utilizando la opción “propiedades”



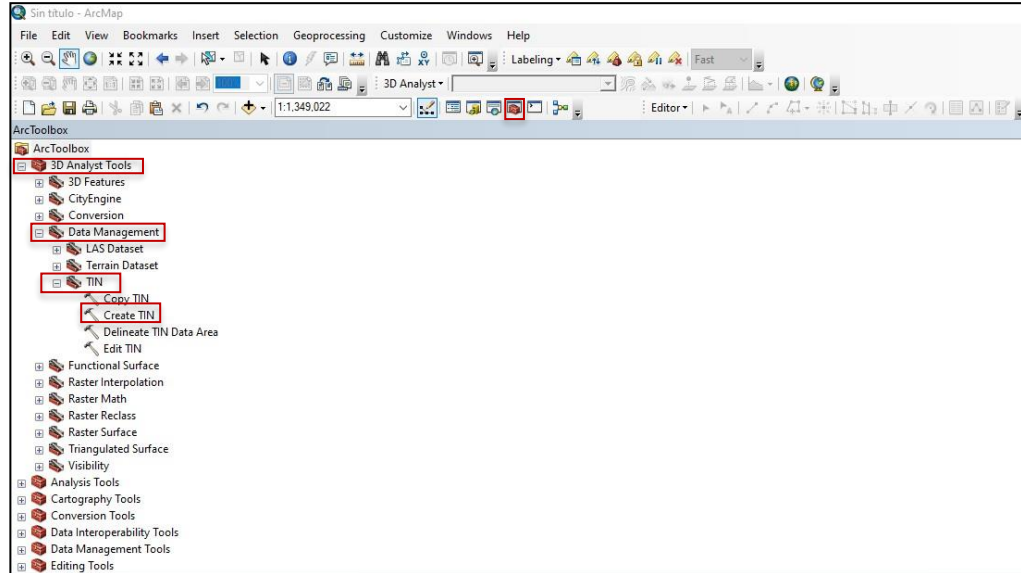
2.4.6 Estructura y modelamiento

Para una representación gráfica tridimensional en ArcMap y ArcScene aplicaremos el modelo digital de elevación (DEM) con la finalidad de obtener una mejor visualización de las áreas de estudio; para ello realizamos los siguientes pasos:

1. Crearemos una superficie TIN a partir de la capa “curvas de nivel”, para ello hicimos uso de la herramienta “Arc Tollbox” > “3D Analyst Tools” > “Data Management” > “TIN” > “Create TIN”.

Figura 15

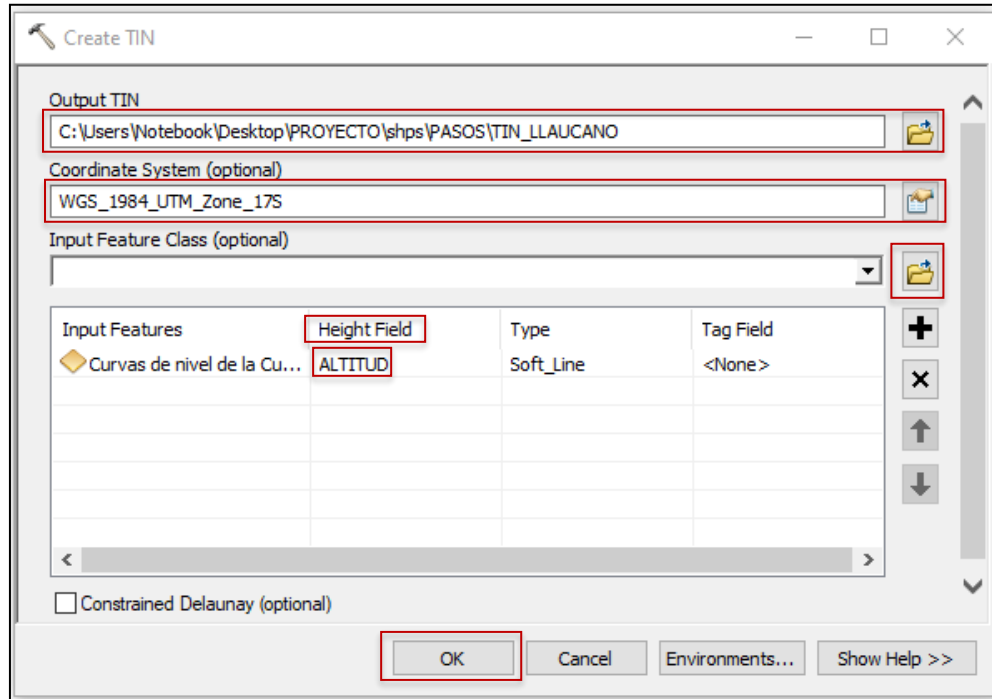
Selección de la herramienta "Create TIN"



Asignaremos la ruta de guardado en “Output TIN”, luego georreferenciamos las coordenadas donde está ubicada nuestra área de interés y fijaremos la capa “Curvas de nivel” en “Input Feature Class”; Finalmente, en la opción “Height Field” especificamos la altura y pulsamos OK.

Figura 44

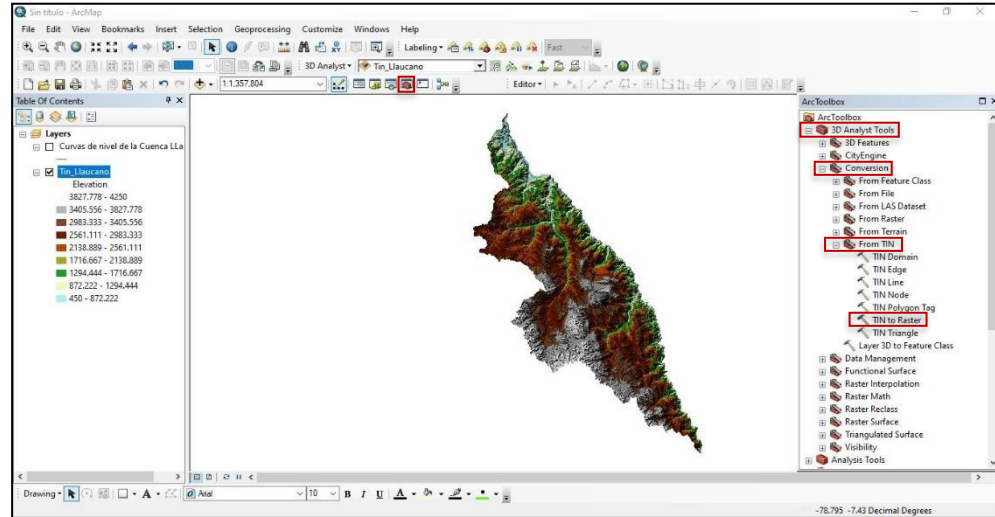
Selección de la capa "curvas de nivel"



2. Hacemos uso nuevamente de la herramienta “Arc Toolbox” > “3D Analyst Tools”, esta vez seleccionamos “Conversion” > “From TIN” > “TIN to Raster”.

Figura 17

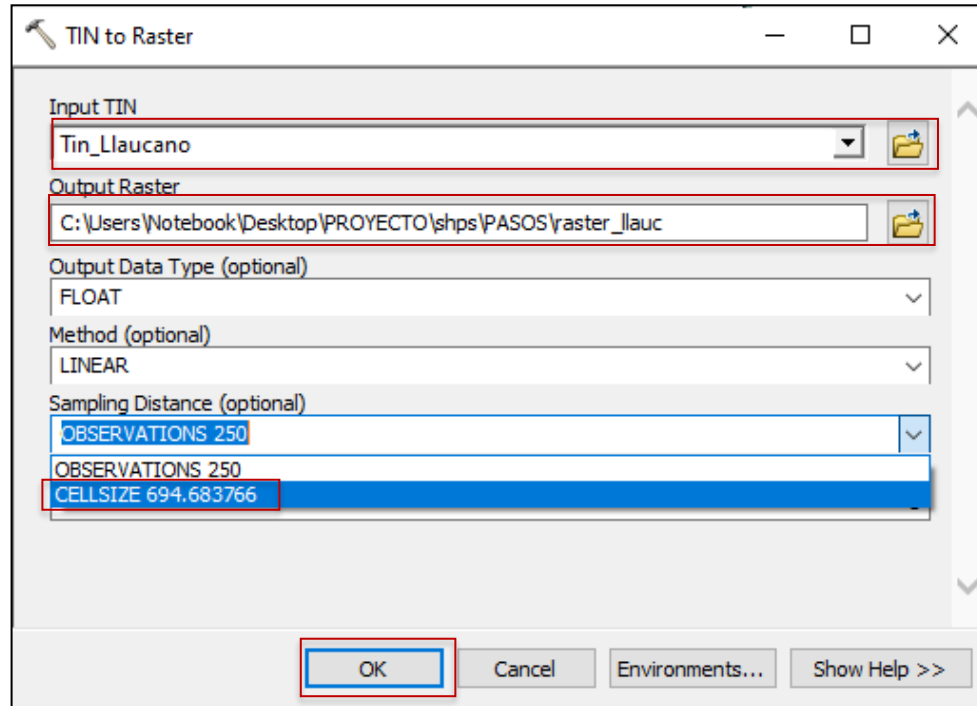
Selección de la herramienta "TIN to Raster"



Primero ingresamos nuestro TIN generado que de nombre tiene "TIN Llaucano" en "Input TIN", posteriormente fijaremos la ruta de salida y, por último, cambiamos las distancias de las celdas a "CELLSIZE" eligiendo el campo "Samplig Distance" y presionamos OK.

Figura 18

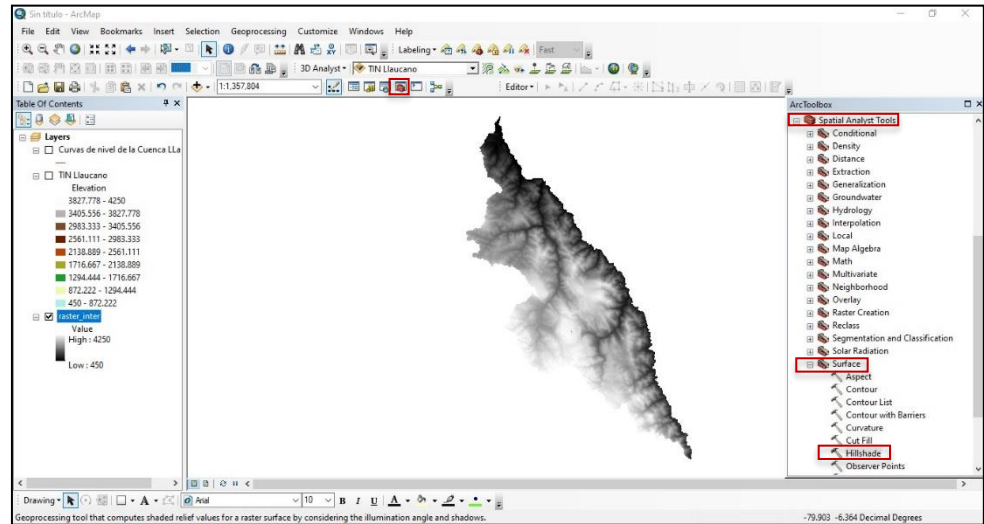
Selección del formato “TIN”



3. Para mostrar un modelo de elevación sombreado (o en relieve) en 3D, haremos uso de la herramienta “Arc Toolbox” > “Spatial Analyst Tools” > “Surface” > “Hillshade”.

Figura 19

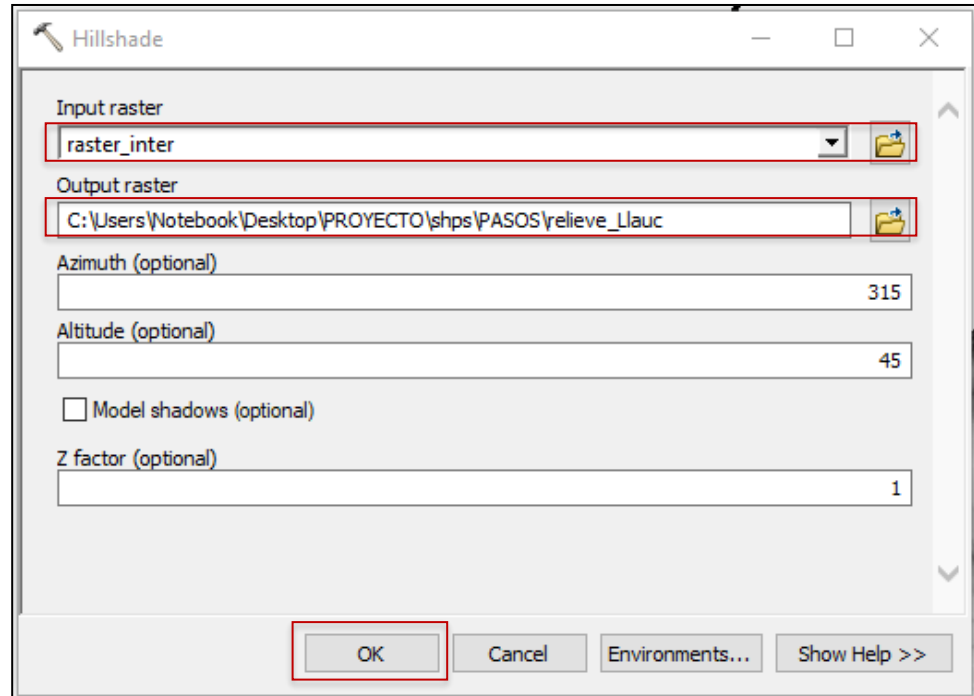
Selección de la herramienta "Hillshade"



Ingresamos el DEM (modelo de elevación digital creado anteriormente) en "input raster" y ubicamos la ruta de salida, finalmente presionamos OK.

Figura 20

Selección del formato "DEM"

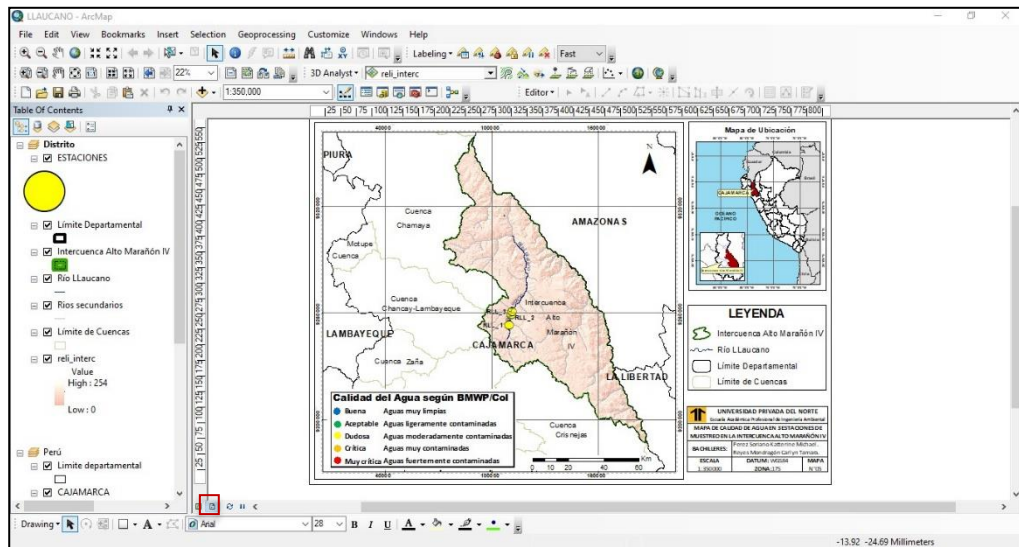


2.4.7 Edición de las áreas de estudio

Para la edición final de mapas se dirige a la opción “Layout View” en donde se podrán colocar textos, grillas, escala, flecha norte, leyenda y cualquier otro objeto para la presentación final de los mapas.

Figura 21

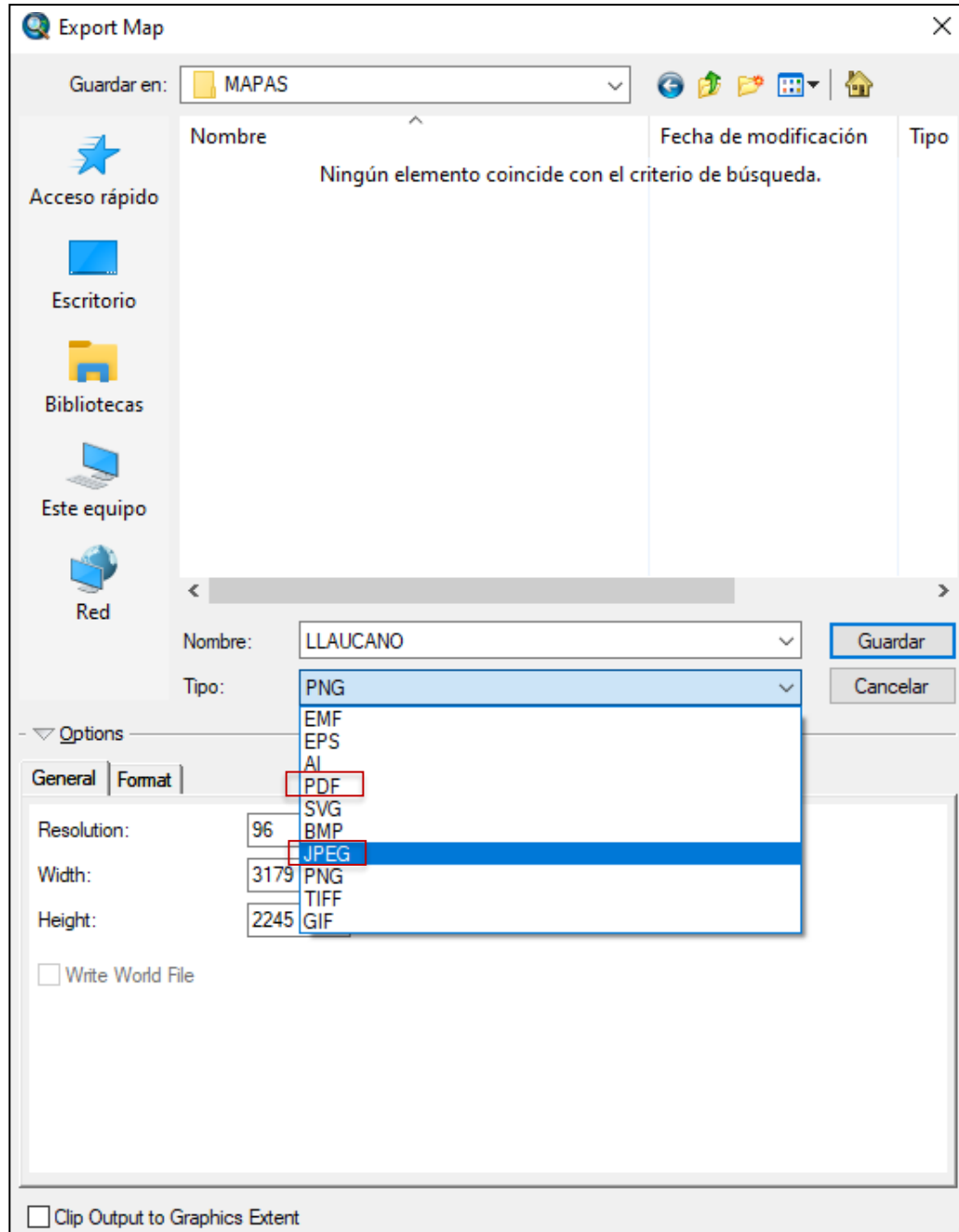
Mapa editado mediante la opción "Layout View"



Finalmente, para exportar el mapa se selecciona la opción “File” > “Export Map” y se selecciona el formato en la que se desea exportar el mapa (los más usados son .pdf y .JPEG).

Figura 22

Selección del formato de exportación del mapa digitalizado



2.5 Aspectos éticos

Los aspectos éticos considerados para la presente investigación fueron de credibilidad y transparencia, puesto que la información presentada está avalada por las técnicas de recojo de información y bases teóricas, asimismo fueron recolectadas de fuentes confiables como repositorios institucionales.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

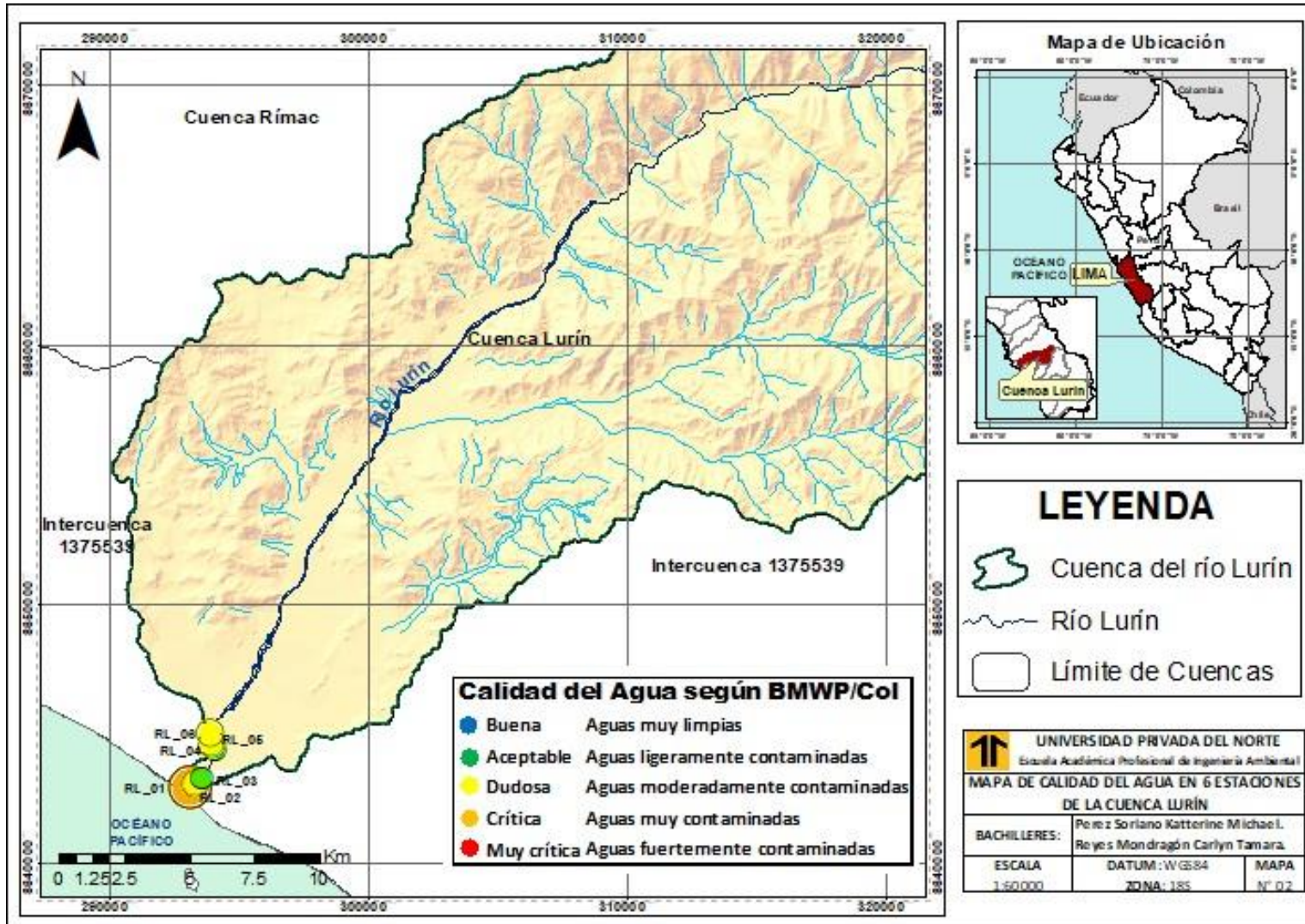
Cada modelo obtenido nos muestra cada estación enlazada con el color que refleja la calidad de agua, tal es el caso de las cuencas Lurín, Perené e Intercuenca Alto Marañón IV pertenecientes a los departamentos de Lima, Junín y Cajamarca respectivamente, en donde podemos visualizar según el índice BMWP/Col, aguas desde ligeramente contaminadas a muy contaminadas. En cambio, en las cuencas Utcubamba, Chillón y Mala, se puede visualizar en mayor percepción aguas ligeramente contaminadas y muy limpias.

A través de las herramientas utilizadas con el programa de ArcGIS 10.6 se ha obtenido los siguientes diseños:

En la figura 23 podemos observar seis estaciones de monitoreo en el río Lurín, el cual mediante la resolución jefatural 202-2010 emitida por la Autoridad Nacional del agua clasificó este cuerpo de agua en la Cuenca Lurín.

Figura 23

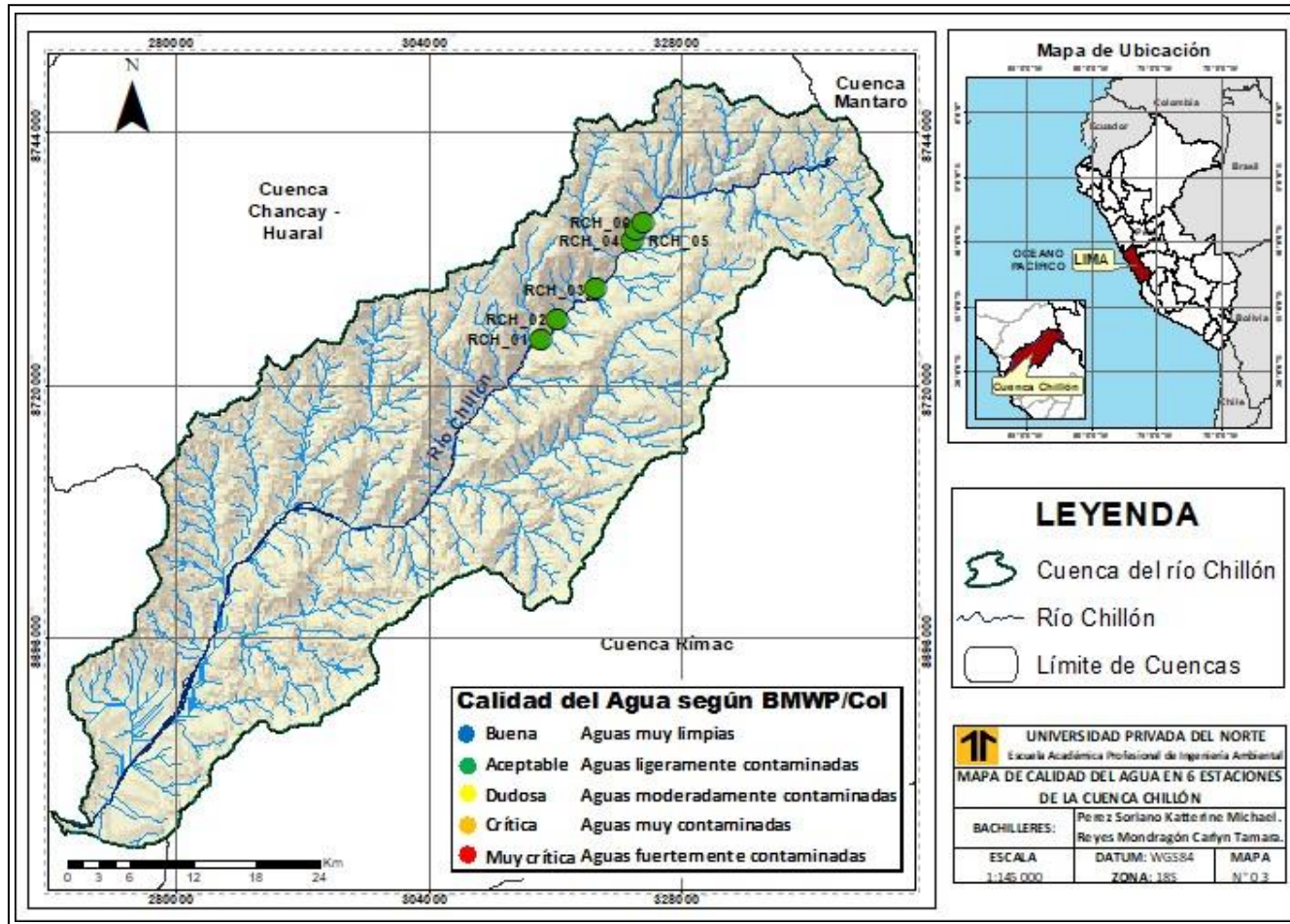
Mapa de calidad del agua en la cuenca del río Lurín



La figura 24 nos muestra seis estaciones de monitoreo en el río Chillón, perteneciente a la cuenca Chillón, en el cual podemos visualizar en todas sus estaciones aguas de calidad “aceptable”.

Figura 24

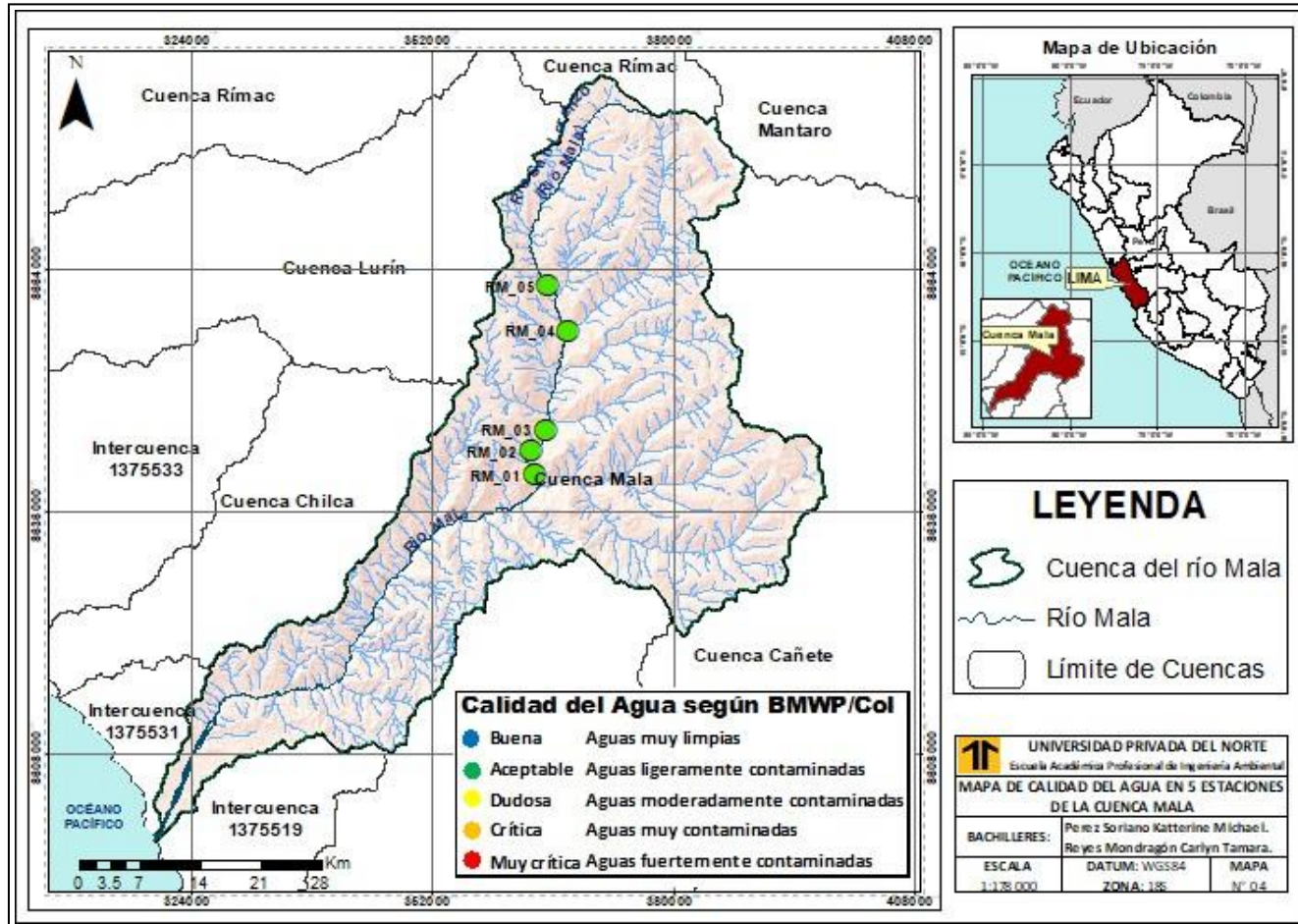
Mapa de calidad del agua en la cuenca del río Chillón



La figura 25 refleja aguas de calidad “aceptable” en sus cinco estaciones de monitoreo ubicadas en el río Mala, el cual dicho cuerpo de agua pertenece a la cuenca Mala.

Figura 25

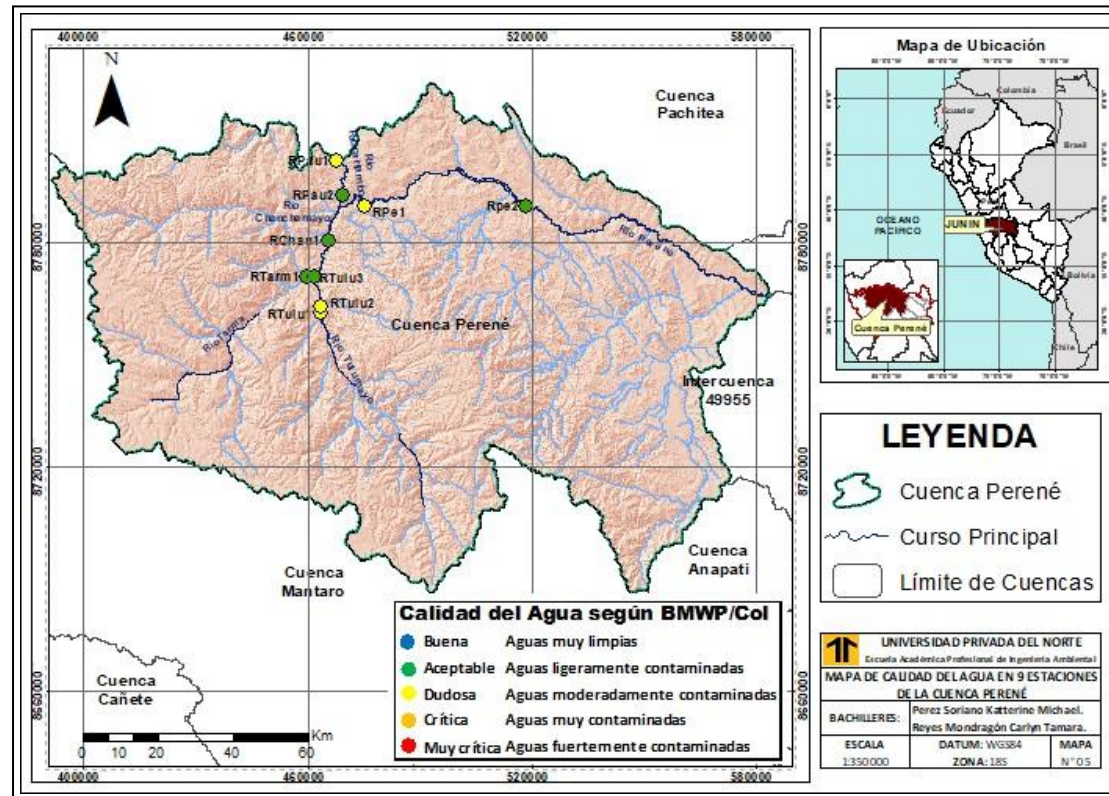
Mapa de calidad del agua en la cuenca Mala



En el departamento de Junín se puede observar nueve estaciones del curso principal de la cuenca Perené, las cuales cuatro de sus nueve estaciones son de mayor preocupación por presentar aguas de calidad “dudosa”. Las estaciones de muestreo están ubicadas de la siguiente manera: tres estaciones en el río Tulumayo, una estación en el río Tarma, dos estaciones en el río Paucartambo, una en el río Chanchamayo y por último dos estaciones en el río Perené. (Ver figura 26).

Figura 26

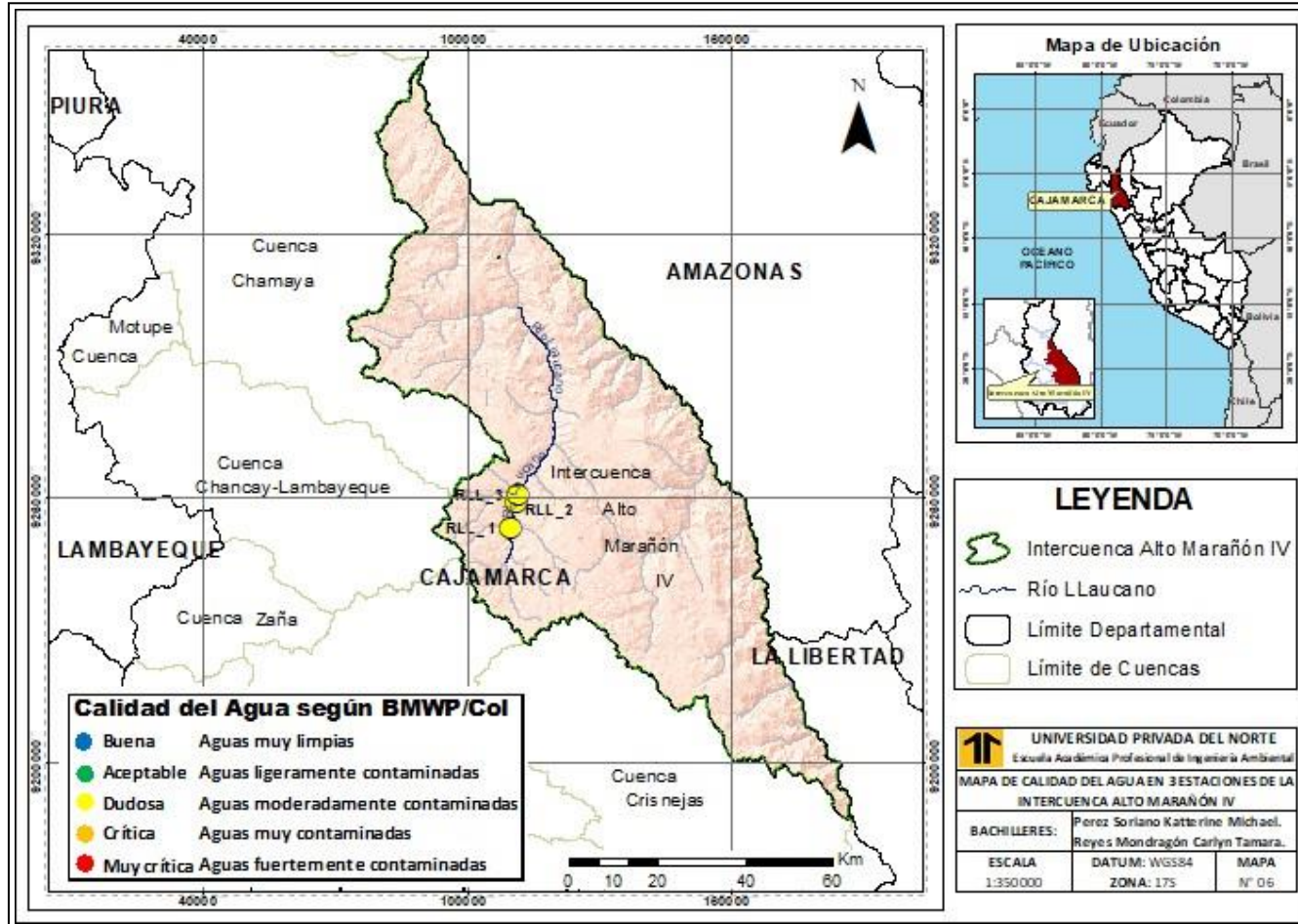
Mapa de calidad del agua en la cuenca Perené



En la figura 27, La Intercuenca Alto Marañón IV presenta tres estaciones de monitoreo, las cuales generan preocupación por presentar agua de calidad “dudosa” en el río Llaucano.

Figura 27

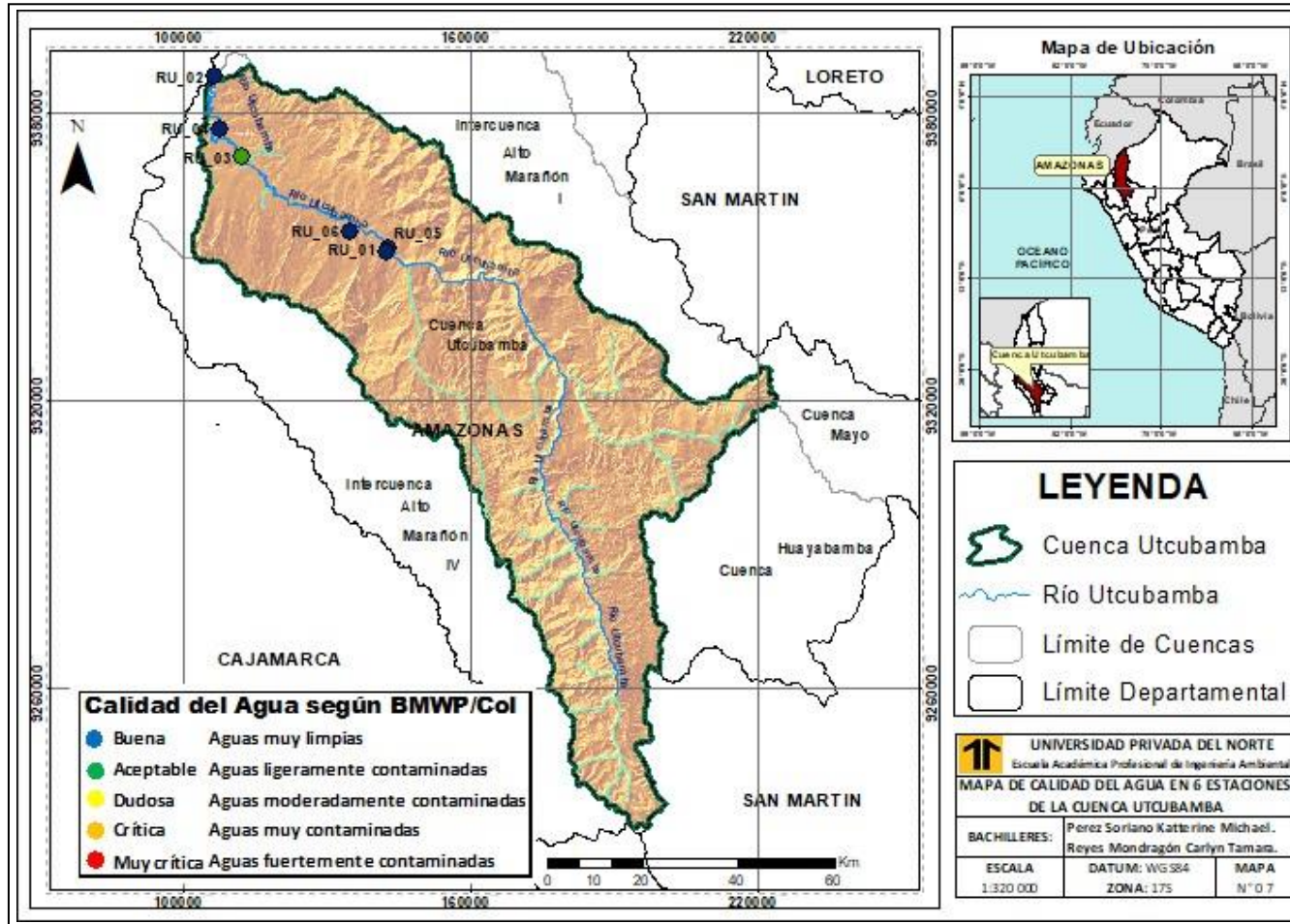
Mapa de calidad del agua en la Intercuenca Alto Marañón IV



Por último, en la cuenca Utcubamba se puede notar aguas de calidad "Buena" y "Aceptable" en sus seis estaciones, siendo una de las cuencas de la región selva que genera menor preocupación.

Figura 28

Mapa de calidad del agua en la cuenca Utcubamba



CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión

La interpretación de los resultados en el modelamiento de cada cuenca hidrográfica está centrada en el índice BMWP; este método biológico se basa en la suma de puntaje por familia, el cual va en un rango del 1 al 10, la suma de las familias encontradas sirve para identificar la calidad de agua presentada en cada estación ubicada en el cuerpo de agua superficial.

- En la cuenca del río Lurín fueron representadas seis estaciones de muestreo, los cuales tienen la suma de puntajes según las familias encontradas: La estación RL-01 tiene un puntaje de 23 el cual refleja el color naranja que a su vez quiere decir aguas de calidad “crítica” (aguas muy contaminadas); las estaciones reflejadas con el color amarillo (RL-02= 36, RL-05=39, RL-06=38) nos indican aguas de calidad “dudosa” lo cual significa que son “aguas moderadamente contaminadas”; por otro lado las estaciones (RL-03= 72 y RL-04 = 62) representadas por el color verde nos indican aguas de calidad "aceptable" que significa "aguas ligeramente contaminadas". Estos resultados reflejaron la diferencia que existió entre los sitios con pendiente y con la desembocadura, donde las aguas arriba se encontró una alta diversidad, con un ensamble de alrededor de 16 familias distintas, y aguas abajo se hallaron comunidades mucho más uniformes y poco diversas, con tan solo 10 familias.
- En las cuencas de los ríos Chillón y Mala, fueron representadas 11 estaciones de monitoreo, seis estaciones corresponden a la Cuenca del río Chillón y cinco estaciones a la Cuenca del río Mala, cada estación refleja la suma de puntajes según las familias encontradas, estos valores oscilan puntajes entre 70 y 100, lo cual quiere decir que presentan aguas de calidad “aceptable” (aguas ligeramente contaminadas); en ambos

cuerpos de aguas superficiales se encuentra una comunidad de macroinvertebrados conformada por un total de 27941 individuos, los cuales se agruparon en 37 familias. Estos resultados reflejaron el promedio entre la temporada seca y durante la temporada lluviosa de las cuencas Chillón y Mala, siendo principalmente con mayor registro en la temporada lluviosa, pudiendo así explicarse por la reducción de flujo de agua e incremento de hábitats disponible para el desarrollo de la comunidad de macroinvertebrados.

- En la cuenca Perené se representaron los monitoreos de nueve estaciones ubicadas en los ríos Tulumayo, Tarma, Chanchamayo, Paucartambo y Perené las cuales están clasificadas según el índice BMWP en aguas de calidad dudosa (aguas moderadamente contaminadas) y aceptable (aguas ligeramente contaminadas). Las estaciones como RTulu3, RTarm1, RChan1, RPau2, RPe2 oscilan puntajes entre 61 y 81 mientras que las estaciones RTulu1, Rtulu2, RPau1, Rpe1 sus puntajes varían entre 40 y 52; esto quiere decir que cuanto mayor sea el puntaje obtenido menor será la contaminación del área de estudio.
- La cuenca del río Llaucano o también llamada Intercuenca Alto Marañón IV presenta tres estaciones de monitoreo, los cuales se pueden ver representados en la figura 27, estas estaciones oscilan puntajes entre 41 y 60 que según la tabla del índice BMWP indican aguas de calidad "dudosa" que a la vez quiere decir "aguas moderadamente contaminadas".
- el Mapa que representa la calidad del agua del río Utcubamba (ver figura 28) tuvo valores por encima del límite de cuantificación del método, es decir, cinco de sus seis

estaciones de monitoreo son de calidad "buena" debido a que sus puntajes son mayores a 101; estos puntajes son similares a los que obtuvo Carrillo (2018), quien determinó en sus siete estaciones de muestreo aguas de calidad "buena" en la Microcuenca del río Lolita, Subcuenca alta del río Sábalo, ubicada en Ecuador.

4.2 Conclusiones

- ✓ El diseño SIG se constituye como una herramienta fundamental para el modelamiento de las cuencas hidrográficas y visualizar la calidad del agua superficial con el índice BMWP/Col.
- ✓ La resolución jefatural 202 – 2010 emitida por el ANA nos permitió clasificar las áreas de estudio con sus respectivas cuencas hidrográficas, cuya información sirvió para delimitar espacialmente en el programa ArcGIS 10.6.
- ✓ Los resultados obtenidos de los diferentes modelos elaborados determinan que se debe priorizar también un mayor análisis de la calidad del agua superficial para un mayor alcance de conocimiento de la situación de la calidad del agua superficial. Los modelos generados resaltan que las cuencas Lurín, Perené e Intercuenca Alto Marañón IV presentan aguas de calidad "crítica" y "dudosa" según el índice BMWP/Col.

REFERENCIAS

- Autoridad Nacional del Agua. (2010). *Clasificación de cuerpos de agua superficiales y marino-costeros*. <http://www.ana.gob.pe/normatividad/rj-no-202-2010-ana-0>
- Autoridad Nacional del Agua. (s.f). ANA. <https://www.ana.gob.pe/portal/gestion-del-conocimiento-girh/enfoque-de-cuenca>
- Bullón, V. (2016). *Macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad de agua en la cuenca del Río Perene, Chanchamayo*. Repositorio Institucional Universidad Nacional del Centro del Perú: <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/3462>
- Bulnes, L. (2019). *Macroinvertebrados bentónicos, indicadores de la calidad ecológica del agua en dos ríos de Lima con distintas actividades productivas*. Repositorio Institucional Universidad Nacional Agraria La Molina: <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/4264>
- Carrillo, M. (2018). *Análisis espacial del índice de calidad de agua y suelo en la microcuenca del río Lolita, subcuenca alta del río Sábalo*. Repositorio DSpace: <http://repositorio.ute.edu.ec/xmlui/handle/123456789/20053?show=full>
- Chumpitaz, B. (2017). *Aplicar Los Índices Bióticos Mediante La Identificación De Los Macroinvertebrados A Nivel Bentos En La Cuenca Baja Del Río Lurín*. Repositorio Institucional UNTELS: <http://repositorio.untels.edu.pe/jspui/handle/123456789/250>
- Conesa, C. (1996). *Áreas de aplicación medioambiental de los "SIG". Modernización y avances recientes*. Papeles de Geografía, (23-24), 101–115.: <https://revistas.um.es/geografia/article/view/45071>

ESRI. (2016). *ArcMap*. <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/manage-data/tin/fundamentals-of-tin-surfaces.htm>

Geocatmin. (s.f). Sistema de Información Geológico Catastral Minero:
<https://geocatmin.ingemmet.gob.pe/geocatmin/>

Geoservidor. (s.f). Ministerio del Ambiente:
<https://geoservidorperu.minam.gob.pe/geoservidor/download.aspx>

Hernández, M. (2017). *Aplicación de SIG en la caracterización de las aguas de dos acuíferos de las comarcas de la Marina Alta-Safor*. Universitat Politècnica de València:
<https://riunet.upv.es/handle/10251/88840>

Hernández, S., Fernández, C., & Baptista, L. (2014). *Metología de la Investigación*.
https://www.academia.edu/32697156/Hern%C3%A1ndez_R_2014_Metodologia_de_la_Investigacion

Meza, C. (2006). *Modelamiento SIG para identificar los cambios del río Ucayali y su influencia ambiental (sector Pucallpa)*. Cybertesis Universidad Nacional Mayor de San Marcos:
<https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/375>

Nagata, M. (1996). *Los sistemas de información geográfica (SIG) : una herramienta en la gestión del espacio propuesta a un mapa de aptitud de suelos en la cuenca hidrográfica del Colca*.
Espacio y Desarrollo:
<https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/espacioydesarrollo/article/view/8005>

Roldán, G. (2016). *Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica*. Revista Academia Colombiana de

Ciencias Exactas, Físicas y Naturales:

<http://www.scielo.org.co/pdf/racefn/v40n155/v40n155a07.pdf>

Saavedra, L. (2019). *Caracterización fisicoquímica y biológica de la calidad del agua en el río Llaucano de la ciudad de Bambamarca*. Repositorio Institucional Universidad Nacional de Cajamarca: <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/2951>

Serrano, V. (2018). *Diseño de un sistema de información geográfica aplicado en la gestión de la calidad del agua superficial de la cuenca hidrográfica Chancay - Huaral*. Repositorio Universidad Alas Peruanas: <https://repositorio.uap.edu.pe/handle/20.500.12990/2672>

Silva, L. (2008). *Instituto de Investigación de Recursos Biológicos*. Manual de monitoreo del agua para el investigador local: <http://www.humboldt.org.co/es/i2d/item/337-manual-de-monitoreo-del-agua-para-el-investigador-local>

Sistema de Información Ambiental Regional. (s.f). *Calidad de Agua*. <http://siar.minam.gob.pe/puno/documentos/calidad-agua>

Valcárcel, D. (2011). *Evaluación de la degradación de ecosistemas dulceacuícolas en la cuenca baja del río Uctubamba (Amazonas - Perú) mediante el uso de macroinvertebrados bentónicos*. Cybertesis Universidad Nacional Mayor de San Marcos: <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/1356>

ANEXOS

Anexo 1

Datos geográficos y biológicos de las áreas de estudio.

ESTACION	LONGITUD	LATITUD	CLASE	CALIDAD	VAL_IBMWP	SIG	COLOR
RChi1	-76.69992	-11.53462	II	ACEPTABLE	98	LIG_CONT	VERDE
RChi2	-76.68431	-11.51799	II	ACEPTABLE	93	LIG_CONT	VERDE
RCh3	-76.65089	-11.49201	II	ACEPTABLE	99	LIG_CONT	VERDE
RCh4	-76.61984	-11.45036	II	ACEPTABLE	98	LIG_CONT	VERDE
RCh5	-76.61551	-11.44069	II	ACEPTABLE	78	LIG_CONT	VERDE
RChi6	-76.60970	-11.43510	II	ACEPTABLE	100	LIG_CONT	VERDE
RMa1	-76.25214	-12.29805	II	ACEPTABLE	70	LIG_CONT	VERDE
RMa2	-76.25618	-12.27296	II	ACEPTABLE	97	LIG_CONT	VERDE
RMa3	-76.24014	-12.25087	II	ACEPTABLE	95	LIG_CONT	VERDE
RMa4	-76.21486	-12.14698	II	ACEPTABLE	91	LIG_CONT	VERDE
RMa5	-76.23644	-12.09995	II	ACEPTABLE	100	LIG_CONT	VERDE
RLu1	-76.90103	-12.26993	IV	CRITICA	23	MUY_CONT	NARANJA
RLu2	-76.89978	-12.26859	III	DUDOSA	36	MOD_CONT	AMARILLO
RLu3	-76.89815	-12.26628	II	ACEPTABLE	72	LIG_CONT	VERDE
RLu4	-76.89332	-12.25652	II	ACEPTABLE	62	LIG_CONT	VERDE
RLu5	-76.89346	-12.25479	III	DUDOSA	39	MOD_CONT	AMARILLO
RLu6	-76.89375	-12.25111	III	DUDOSA	38	MOD_CONT	AMARILLO
RTarm1	-75.36711	-11.11968	II	ACEPTABLE	82	LIG_CONT	VERDE
RTulu1	-75.33431	-11.20938	III	DUDOSA	52	MOD_CONT	AMARILLO
RTulu2	-75.33323	-11.19418	III	DUDOSA	40	MOD_CONT	AMARILLO
RTulu3	-75.34983	-11.12276	II	ACEPTABLE	79	LIG_CONT	VERDE
RChan1	-75.31628	-11.03321	II	ACEPTABLE	81	LIG_CONT	VERDE
RPau1	-75.29390	-10.83971	III	DUDOSA	46	MOD_CONT	AMARILLO
RPau2	-75.28205	-10.92451	II	ACEPTABLE	80	LIG_CONT	VERDE
RPe1	-75.22543	-10.95057	III	DUDOSA	40	MOD_CONT	AMARILLO
Rpe2	-74.83005	-10.94925	II	ACEPTABLE	61	LIG_CONT	VERDE
RLLau1	-78.52954	-6.74503	III	DUDOSA	60	MOD_CONT	AMARILLO
RLLau 2	-78.51846	-6.69155	III	DUDOSA	52	MOD_CONT	AMARILLO
RLLau3	-78.51503	-6.67654	III	DUDOSA	41	MOD_CONT	AMARILLO
RUtcu01	-78.22657	-5.85666	I	BUENA	146	MUY_LIMP	AZUL

ESTACION	LONGITUD	LATITUD	CLASE	CALIDAD	VAL_IBMWP	SIG	COLOR
RUtcu02	-78.55084	-5.53000	I	BUENA	135	MUY_LIMP	AZUL
RUtcu03	-78.50014	-5.68237	II	ACEPTABLE	69	LIG_CONT	VERDE
RUtcu04	-78.54092	-5.62924	I	BUENA	117	MUY_LIMP	AZUL
RUtcu05	-78.22966	-5.86291	I	BUENA	116	MUY_LIMP	AZUL
RUtcu06	-78.29661	-5.82450	I	BUENA	185	MUY_LIMP	AZUL