



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS
NATURALES
CARRERA DE INGENIERÍA EN MEDIO AMBIENTE
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**“VARIACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE FOSFATOS EN LA
MICROCUENCA DEL RÍO CUTUCHI UTILIZANDO TÉCNICAS DE
ESTIMACIÓN GEOESTADÍSTICA”**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PREVIO LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO EN
INGENIERA DE MEDIO AMBIENTE**

AUTOR: Quispe Rodríguez Angela Paulina

TUTOR: M. Sc. Kalina Marcela Fonseca Largo

LATACUNGA - ECUADOR

Agosto – 2018

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo ANGELA PAULINA QUISPE RODRÍGUEZ declaro ser autor (a) del presente proyecto de investigación: VARIACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE FOSFATOS EN LA MICROCUENCA DEL RÍO CUTUCHI UTILIZANDO TÉCNICAS DE ESTIMACIÓN GEOESTADÍSTICA, CANTÓN LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI siendo la ING. MSC: KALINA MARCELA FONSECA LARGO tutor (a) del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

.....

Angela Paulina Quispe Rodríguez

0503780579

CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **QUISPE RODRÍGUEZ ANGELA PAULINA**, identificado con C.I. N°**0503780579** de estado civil **SOLTERA** y con domicilio en Salcedo, Parroquia Mulalillo, Barrio Salatilín, calle Victoria Jaramillo, a quien en lo sucesivo se denominarán **EL CEDENTE**; y, de otra parte, el Ing. MBA. Cristian Fabricio Tinajero Jiménez, en calidad de Rector y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez Barrio El Ejido Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **EL CESIONARIO** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA. - EL CEDENTE, es una persona natural estudiante de la carrera de Ingeniería de Medio Ambiente, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado **Proyecto de Investigación** la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad según las características que a continuación se detallan:

Historial académico. - (SEPTIEMBRE 2013 - FEBRERO 2014 Hasta ABRIL - AGOSTO 2018)

Aprobación Consejo Directivo: agosto, 8 del 2017

Tutor. - M. Sc. Kalina Marcela Fonseca Largo

Tema: “VARIACIÓN ESPACIO - TEMPORAL DE FOSFATOS EN LA MICROCUENCA DEL RÍO CUTUCHI UTILIZANDO TÉCNICAS DE ESTIMACIÓN GEOESTADÍSTICA”

CLÁUSULA SEGUNDA. - LA CESIONARIA, es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

CLÁUSULA TERCERA. - Por el presente contrato, **LA/EL CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

CLÁUSULA CUARTA. - OBJETO DEL CONTRATO: Por el presente contrato **LA/EL CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

- a) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.
- b) La publicación del trabajo de grado.
- c) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
- d) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
- f) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

CLÁUSULA QUINTA. - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **EL CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

CLÁUSULA SEXTA. - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD. - Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **LA/EL CEDENTE** podrá utilizarla.

CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS. - LA CESIONARIA podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **LA/EL CEDENTE** en forma escrita.

CLÁUSULA NOVENA. - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en las cláusulas cuartas, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

CLÁUSULA DÉCIMA. - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

CLÁUSULA UNDÉCIMA. - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad.

El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, del mes de agosto del 2017.

Angela Paulina Quispe Rodríguez

EL CEDENTE

Ing. MBA. Cristian Tinajero Jiménez

EL CESIONARIO

AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el tema:

“VARIACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE FOSFATOS EN LA MICROCUENCA DEL RÍO CUTUCHI UTILIZANDO TÉCNICAS DE ESTIMACIÓN GEOESTADÍSTICA”, de Angela Paulina Quispe Rodríguez de la carrera de Ingeniería de Medio Ambiente, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, agosto de 2018

El Tutor

Firma

.....

Ing. MSc. Kalina Marcela Fonseca Largo

1723534457

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales ; por cuanto, el postulante: ANGELA PAULINA QUISPE RODRÍGUEZ con el título de Proyecto de Investigación: “Variación Espacio-Temporal de fosfatos en la microcuenca del río Cutuchi utilizando técnicas de Estimación Geoestadística” han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, agosto de 2018

Para constancia firman:

Lector 1
Nombre: Ing. MSc Mercy Ilbay
CC: 0604147900

Lector 2
Nombre: Ing. MSc. Juan Espinoza
CC: 1713474326

Lector 3
Nombre: Dr. Carlos Mantilla
CC: 0501553291

AGRADECIMIENTO

Infinitas gracias a Dios y la Virgen por ser los motores que permitieron realizar el presente trabajo, a mis seres de luz Ana y Faridth.

Un inmenso agradecimiento a Kalina Fonseca, tutora del presente trabajo de titulación, quien transmitió los conocimientos necesarios con paciencia y dedicación. A la Universidad Técnica de Cotopaxi, especialmente a Giovanna Parra quien permitió la utilización de datos de estudios previos en la Microcuenca del Cutuchi, del mismo modo a la Universidad Internacional SEK.

Gracias también a Gabriela, Paola y Evelin amigas y compañeras de lucha.

Angela Paulina Quispe Rodríguez

DEDICATORIA

A:

Dios y la Virgen, mis seres de luz por día tras día guiarme para cumplir mis metas

Mis padres Martha- Braulio, Ana- William por sus esfuerzos impresionantes y amor incondicional para llegar a la culminación de mi carrera universitaria.

Mi hermana Ana Stephanie quien me ha inspirado para ser el espejo en el que ella se mire.

Mis amigas Eve, Pao, Yos y Gaby quienes formaron una pequeña familia en el camino universitario.

Angela Paulina Quispe Rodríguez

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y DE RECURSOS NATURALES

TITULO: “VARIACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DEL OXÍGENO DISUELTO EN LA MICROCUENCA DEL RÍO CUTUCHI UTILIZANDO TÉCNICAS DE ESTIMACIÓN GEOESTADÍSTICA”

Autor: Angela Paulina Quispe Rodríguez

RESUMEN

El presente estudio evaluó la variación espacio- temporal de las concentraciones de fosfato en la Microcuenca del Río Cutuchi (MRC), la cual es parte del río Pastaza que nace en los páramos de los deshielos del volcán Cotopaxi, tiene un área de cuenca de 2677 km² y una longitud aproximada de 60 km. La contaminación de los ríos por la concentración de fosfatos afecta alterando la eutrofización de las aguas superficiales. Para la investigación se utilizaron dos bases de datos, una de la Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC) y la otra de la Universidad Internacional SEK, las cuales fueron monitoreadas desde el mes de septiembre de 2010 a julio de 2011 por la UTC, y para la SEK desde el mes de octubre hasta abril del año 2017. Inicialmente se realizó un análisis exploratorio de datos (AED), para evaluar la distribución y el comportamiento de los datos, posteriormente se procesaron con el paquete interpolador Surfer y finalmente se realizaron los mapas de distribución espacial de fosfatos en la MRC. Como resultado, se obtuvo en el AED que los datos presentan poco outliers y completados con el criterio de la media se interpolaron para obtener los tres mejores interpoladores: polinomio local, medias móviles y regresión polinómica para las dos bases de datos que fueron valorados con el error medio cuadrático (EMC). Se concluyó que mediante los mejores interpoladores se obtuvo datos de fosfato en la MRC, que no fueron monitoreados y predecir su comportamiento de distribución, de esta manera se disminuye costos de tiempo y dinero que demanda el levantamiento de información de campo.

Palabras clave: Microcuenca del Río Cutuchi (MRC), interpolación, fosfato, polinomio local.

ABSTRACT

The present research evaluated the variation spatio-temporal of the phosphate concentrations in Cutuchi River Microbasin (MRC), which is part of the Pastaza River, the CRM is born in the moors of Cotopaxi volcano thaws, it has an area 2677 km² and 60 km length. The rivers contamination phosphates concentration is affected by surface waters eutrophication altering eutrophication. For the investigation, two databases were used, one from the Technical University of Cotopaxi (UTC) and the other one from SEK University, which were monitored since September 2010 to July 2011 by UTC, and by SEK since October to April 2017. Initially, it was realized a data exploratory analysis (AED), to evaluate the distribution and behavior later they were processed by the package of the Surfer interpolator and finally to realize the spatial distribution maps of phosphates in the MRC. As a result, data was obtained in the AED that has enough outliers, and completed with the mean were interpolated to obtain the three best interpolators: local polynomial, moving averages and polynomial regression for two databases that were valued with the mean square error (EMC). It was concluded that through the best interpolators, phosphate data was obtained in MRC, which were not monitored and to predict its distribution behavior, reducing costs of time and money that the gathering of information in the field would require.

Keywords: Cutuchi River micro-basin (MRC), interpolation, phosphate, local polynomial.

ÍNDICE GENERAL

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	ii
CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR.....	iii
AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	vi
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN.....	vii
AGRADECIMIENTO	viii
DEDICATORIA	ix
RESUMEN.....	x
ABSTRACT	xi
ÍNDICE DE TABLAS	xv
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xvi
ÍNDICE DE ANEXOS	xvii
1. INFORMACIÓN GENERAL	1
2. INTRODUCCIÓN.....	2
3. JUSTIFICACIÓN.....	3
4. BENEFICIARIOS	4
5. PROBLEMÁTICA	4
6. OBJETIVOS.....	6
6.1 GENERAL	6
6.2 ESPECÍFICOS	6
7. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN CON LOS OBJETIVOS PLANTEADOS	7
8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA.....	7
8.1 Microcuenca del río Cutuchi (MRC)	7
8.1.1 Ubicación geográfica. -.....	7
8.1.2 Contaminación del río Cutuchi.....	8
8.2 Parámetros en calidad de agua	9

8.2.1	Parámetros Físicos. -	9
8.2.2	Parámetros Químicos. -	11
8.2.3	Parámetros Biológicos. -	15
8.2.4	Parámetros bacteriológicos.....	16
8.3	Los fosfatos	16
8.3.1	Contaminación por fosfatos.....	17
8.3.2	Ciclo del fósforo en aguas residuales	19
8.3.3	Problemas ambientales por exceso de fósforo y nitrógeno	20
8.3.4	Determinación de fosfatos	21
8.3.5	Determinación de fosfatos por colorimetría	22
8.3.6	Determinación de fosfatos por espectrofotometría.....	22
8.3.7	Eliminación de biológica de los fosfatos.....	22
8.4	Análisis exploratorio de datos	23
8.4.1	Medidas de resumen	23
8.4.2	Gráficas estadísticas	24
8.4.3	Interpolación.....	25
8.4.4	Métodos de interpolación matemáticos	26
8.4.5	Método geoestadístico	28
9.	HIPÓTESIS	29
9.1	Hipótesis Alternativas	29
9.2	Hipótesis Nula.....	29
10.	METODOLOGÍA (TÉCNICAS, MÉTODOS, INSTRUMENTOS)	29
10.1	Área de estudio.....	29
10.2	Análisis exploratorio de datos (AED)	31
10.3	Procesamiento con Surfer.....	31
10.4	Validación del método	31
10.5	Mapas de interpolación	32

11. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	32
11.1 Análisis exploratorio de datos	32
11.1.1 Base de datos UTC.	33
11.2 Interpolación con Surfer	39
11.3 Validación del método	39
11.4 Mapas de Interpolación	40
12. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	43
12.1 Conclusiones	43
12.2 Recomendaciones.....	43
13. BIBLIOGRAFÍA	45
14. ANEXOS	50

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Lista de beneficiarios directos e indirectos	4
Tabla 2. Actividades en base a los objetivos	7
Tabla 3. Composición del lacto suero dulce y acido	18
Tabla 4. Base de datos de fosfatos de la UTC	33
Tabla 5: Medidas de resumen UTC.....	34
Tabla 6. Base de datos de fosfatos de la SEK	36
Tabla 7: Medidas de resumen SEK	36
Tabla 8: Comparación de métodos base de datos SEK-UTC.....	39

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Especiación del fósforo en función del pH.....	19
Gráfico 2. Ciclo (A) y ejemplo de eutrofización (B).....	21
Gráfico 3. Microcuenca del río Cutuchi	30
Gráfico 4: Histograma UTC	35
Gráfico 5. Box-plot Universidad Técnica de Cotopaxi	35
Gráfico 6: Histograma SEK.....	37
Gráfico 7. Box-plot de datos de la SEK, variable fosfato en tres puntos de muestreo.....	37
Gráfico 8: Box-plot de datos de la SEK sin considerar outliers, variable fosfatos en tres puntos de muestreo	38
Gráfico 9. Interpolación UTC.....	41

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Hoja de vida de la estudiante.....	50
Anexo 2. Caracterización de la Microcuenca del Río Cutuchi	51
Anexo 3. Puntos de muestreo del rio Cutuchi	51
Anexo 4. Coordenadas y latitud de los puntos de muestreo.....	52
Anexo 5. Base de datos de los monitoreos de fosforo total	52
Anexo 6. Medidas de resumen base de datos UTC.....	53
Anexo 7. Medidas de resumen de base de datos SEK; datos outliers	53
Anexo 8. Medidas de resumen base de datos SEK, sin outliers.....	53
Anexo 9. Proceso para obtener el mapa de interpolación: Histograma.....	54
Anexo 10. Gráfico de QQ plot.	54
Anexo 11. Análisis de Tendencia.....	55
Anexo 12. Semivariograma.....	55
Anexo 13. Asistente Geoestadístico	56
Anexo 14. Aval de Inglés	57

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título del Proyecto:

“VARIACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE FOSFATOS EN LA MICROCUENCA DEL RÍO CUTUCHI UTILIZANDO TÉCNICAS DE ESTIMACIÓN GEOESTADÍSTICA”

Fecha de inicio:

Octubre de 2017

Fecha de finalización:

Febrero de 2018

Lugar de ejecución:

Provincia de Cotopaxi, Cantón Latacunga, Microcuenca del Río Cutuchi

Facultad que auspicia:

Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales

Carrera que auspicia:

Ingeniería de Medio Ambiente

Proyecto de investigación vinculado:

Calidad de agua

Equipo de Trabajo:

Autor: Paulina Quispe Rodríguez

Tutor: MSc Kalina Fonseca

Lector 1: MSc. Mercy Ilbay

Lector 2: MSc. Juan Espinosa

Lector 3: Dr. Carlos Mantilla

Área de Conocimiento:

Servicios- Protección del Medio Ambiente- Manejo de Recursos Hídricos

Línea de investigación:

Análisis, Conservación y Aprovechamiento de la biodiversidad local.

Sub líneas de investigación de la Carrera:

Impactos Ambientales

2. INTRODUCCIÓN

La evaluación de la distribución espacial de las variables que influyen en la calidad de agua es un paso previo para el manejo integral de los recursos hídricos. La caracterización de la calidad del agua, se realiza mediante mediciones en campo que generalmente están limitadas por los recursos económicos, condiciones climáticas o por la naturaleza misma del fenómeno. La interpolación matemática y la geoestadística son una manera de describir la continuidad espacial de cualquier fenómeno natural. Con ello llegamos a conocer la forma en que varía cualquier variable continua en el espacio a una o varias escalas seleccionadas, con un nivel de detalle que permite cuantificar la variación espacial de la variable en distintas direcciones del espacio. (Li, J. & Heap, A.D., 2011). El análisis geoestadístico en Sistemas de Información Geográfica (SIG) se ha utilizado ampliamente en la interpolación de datos climáticos (Tveito, 2005). Los datos espacialmente continuos que no están disponibles, son difíciles de obtener y costosos de adquirir, por lo tanto, variables no muestreadas deben estimarse para generar datos espacialmente continuos. Los métodos de interpolación espacial proporcionan una herramienta para estimar los valores de una variable ambiental en sitios no muestreados utilizando datos de observaciones puntuales.

Este proceso se puede realizar mediante el uso del software Surfer, programa que grafica información geoespacial y transforma datos en contornos curvos continuos mediante la utilización de 12 interpoladores (Yang, 2004). Los factores que afectan el rendimiento de los métodos de interpolación espacial son: densidad de muestreo, distribución espacial de la muestra, agrupamiento de muestras (Collins, 1996), tipo de superficie, la varianza de los datos, la normalidad de los datos, calidad de la información secundaria, estratificación y tamaño o resolución de la cuadrícula (Hengl, 2007).

Los métodos de interpolación espacial se han aplicado ampliamente en las ciencias ambientales, varios estudios han comparado un conjunto de diferentes métodos, lo que hace difícil sacar conclusiones generales. Sin embargo, el kriging ordinario (OK), la ponderación de distancia inversa (IDW), entre otros han sido utilizados (Chávez, 2013).

3. JUSTIFICACIÓN

La presente investigación se realizó con la finalidad de conocer la distribución espacial de la concentración de fosfatos a lo largo de la microcuenca del río Cutuchi (MRC), mediante la utilización de la interpolación matemática y la geoestadística.

La Microcuenca del Cutuchi (MRC) es la fuente de suministro de agua para los cantones cercanos y de gran importancia para el sector agroecológico del país. Por este río circulan 30 mil metros cúbicos de aguas servidas, dos toneladas de basura que afecta cerca de 40 mil hectáreas apostadas en las riberas y canales de agua (Fernández, 2003).

La contaminación se manifiesta en la MRC principalmente por la presencia de sales, nitratos, fosfatos, esto por la utilización de fertilizantes y los detergentes que llegan al agua con el escurrimiento agrícola, los desechos industriales y las descargas de aguas negras (González, 2011). En general, la contaminación fosfatada es considerada una consecuencia directa del uso de fertilizantes por la agricultura; la mayoría de los estudios publicados sobre el tema plantea el problema de una agricultura intensiva, no respetuosa del medio ambiente (Ambientum.com, 2008).

Al ser la MRC la más importante en la provincia de Cotopaxi y única fuente de suministro de agua es necesario monitorear y evaluar su calidad a través de métodos específicos, rápidos, exactos y confiables para obtener una línea base de información para monitoreo periódico del mismo con el objeto de evitar mayores problemas suscitados por contaminación, eutrofización o cambios en el ecosistema (MAE, 2012).

El monitoreo de la calidad del agua es una herramienta fundamental en el manejo de los recursos de aguas dulces y este al ser un recurso limitado y básico para el desarrollo de la vida es de vital importancia la constante evaluación de sus propiedades. Estos monitoreos llevan consigo una alta demanda de recursos económicos y también requiere de mucho tiempo tanto en la toma de muestras como en los análisis de las mismas (Ambiente, 2014).

En los estudios de variación temporal y espacial se han empleado diversas metodologías; como los programas geoestadísticos y estadísticos descriptivos más los Sistemas de Información Geográfica (SIG) nos brindan la oportunidad de obtener datos del grado de contaminación partiendo de resultados que han sido tomados in situ, con el cual se puede evaluar la variabilidad de espacio, tiempo y concentración de la distribución de los fosfatos dentro de la microcuenca.

Con la implementación de estos nuevos sistemas de geoestadística se promoverá el desarrollo

de técnicas que facilitan los trabajos en campo en cuanto a los monitoreos, también se brindara nuevos conocimientos en las prácticas de Manejo Integrado de los Recursos Hídricos para mejorar las condiciones sociales, económicas y ambientales.

4. BENEFICIARIOS

Tabla 1: Lista de beneficiarios directos e indirectos

	HOMBRES	MUJERES	TOTAL
<u>DIRECTOS</u>			
Docentes – investigadores de la carrera de Ingeniería en medio ambiente Consejo Provincial	13	5	18
GAD Municipal de Latacunga (Departamento de Gestión Ambiental)	32	17	49
	4	7	11
<u>INDIRECTOS</u>			
ARCA	7	8	15
SENAGUA	5	7	12
MAE	10	15	25

Fuente: (Quispe, 2018)

5. PROBLEMÁTICA

El crecimiento de la población a nivel mundial ha incrementado los niveles de contaminación, esta contaminación se encuentra relacionada con el vertido de agua de desecho de origen doméstico e industrial a los cuerpos de agua. En el caso de los residuos de origen doméstico, la carga contaminante está representada por altos porcentajes de materia orgánica y microorganismos (Pulido, 2005).

En todo el mundo, al menos 1800 millones de personas se abastecen de una fuente de agua potable que está contaminada por heces. Más del 80% de las aguas residuales en los países en vías de desarrollo se descarga sin tratamiento, contaminando ríos, lagos y zonas costeras.

El agua contaminada puede transmitir enfermedades como la diarrea, el cólera, la disentería, la fiebre tifoidea y la poliomielitis. Se calcula que la contaminación del agua potable provoca más de 502 000 muertes por diarrea al año (OMS, 2014).

De aquí a 2025, la mitad de la población mundial vivirá en zonas con escasez de agua.

En los países de ingresos bajos y medios, el 38% de los centros sanitarios carecen de fuentes de agua, el 19% de saneamiento mejorado, y el 35% de agua y jabón para lavarse las manos. (UNICEF, 2015)

En Ecuador aproximadamente el 70% de los ríos del país están en condiciones críticas de contaminación, solo el 12% de las aguas que se emplean en el consumo humano recibe un tratamiento adecuado previo a su descarga en ríos y quebradas, de acuerdo con la Secretaría Nacional del Agua. Cinco ríos ecuatorianos están severamente contaminados, según un estudio de la organización Oxfam Internacional. "Machángara, Guayllabamba, Esmeraldas, Guayas y Cutuchi", están contaminados, y algunos de ellos tienen tramos declarados biológicamente muertos (Fundación Natura.).

Los niveles de contaminación de los cuerpos hídricos aumentan año tras año debido al sistema productivo que se instaura con el crecimiento de la población. En muchas zonas agrícolas se utiliza este tipo de agua para regadío de diversos tipos de cultivos sin estar conscientes del potencial tóxico de este recurso (MAE, 2012).

En la ciudad de Latacunga, provincia de Cotopaxi, el 16% de los cuerpos de agua están en la categoría de contaminados el río Cutuchi está estimado en este porcentaje; según técnicos de la Secretaría Nacional del Agua SENAGUA, este un alto contenido de coliformes fecales y ausencia de vida acuática, debido a la contaminación.

Una parte de las aguas del río Cutuchi es trasladada por los canales de riego Latacunga-Salcedo-Ambato y Jiménez-Cevallos. Unas 24 000 hectáreas de pastizales, sembradíos de hortalizas y legumbres son irrigadas con las aguas contaminadas en Cotopaxi y Tungurahua.

Todo el trayecto por el cual transcurre las aguas del río Cutuchi al existir fuentes puntuales y no puntuales de descarga de efluentes tanto de fábricas y domicilios asentados a la rivera de este cuerpo de agua se evidencia alto contenido contaminación por fosfatos, el origen de dicha presencia puede ser muy variado, se añaden en algunos tratamientos de aguas, o como caso más habitual es en forma de aditivo a detergentes para el lavado de la ropa o limpieza en general. Desgraciadamente el uso de fertilizantes o abonos orgánicos, los llamados fitosanitarios con presencia de fosfatos también influyen, de manera negativa, en la presencia de éstos en agua, ya que por percolación llegan a los acuíferos naturales (Peña, 2002).

Por lo tanto, es primordial; realizar un análisis de la calidad del agua que se está usando para riego. Es así, que la Secretaría Nacional del Agua SENAGUA, implantó el Proyecto Calidad del Agua, como uno de los objetivos para el año 2010, fue establecer la línea base de

monitoreo de calidad del agua para riego en la Demarcación Hidrográfica del Guayas fundamentada en la pirámide de Manejo Integral de la Calidad del Agua, y establecer un plan de monitoreo a continuarse por los especialistas de calidad del agua de la demarcación (Fundación Natura.).

Para conocer los Índices de Calidad de agua y la concentración de fosfatos presentes en los cuerpos receptores de agua se requieren de varios monitoreos que constan desde el personal calificado para la toma de las muestras, los implementos necesarios tanto para la extracción de la muestra como para el transporte, los análisis de los parámetros a estudiar mismos que deben ser realizados en un laboratorio calificado llevan consigo una alta demanda de dinero y tiempo.

Los fosfatos como agentes contaminantes del agua en los últimos años son de importancia debido a que son sustancias solubles que las plantas necesitan para su desarrollo y que si se encuentran en el agua en cantidades excesivas inducen el crecimiento desmesurado de algas y otros organismos provocando procesos de polución y eutrofización.

También se debe tomar en cuenta que estos monitoreos deben ser constantes y en varios puntos de la cuenca, es por eso que los métodos geoestadísticos nos brindan una ayuda para que se eviten estos constantes y repetidos monitoreos mediante la utilización de paquetes estadísticos y los Sistemas de Información Geográfica (SIG), que con interpolaciones se podrá determinar Índices de Calidad de Agua.

6. OBJETIVOS

6.1 GENERAL

- Analizar la variación de la distribución espacial de fosfatos a partir de muestreos realizados en la microcuenca del río Cutuchi

6.2 ESPECÍFICOS

- Examinar los datos obtenidos previamente a la aplicación técnica de interpolación matemática y geoestadística.
- Realizar el análisis comparativo de los métodos de interpolación mediante indicadores de desempeño.
- Elaborar mapas de distribución espacial de los fosfatos en la MRC.

7. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN CON LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

Tabla 2. Actividades en base a los objetivos

OBJETIVOS	ACTIVIDAD	RESULTADOS	DESCRIPCIÓN
Examinar los datos obtenidos previamente a la aplicación técnica de interpolación matemática y geoestadística.	Realizar un análisis exploratorio de datos para conocer el comportamiento de los estudios previos de la Universidad Técnica de Cotopaxi y Universidad Internacional SEK.	Se conoció que los datos presentan variabilidad; para la base de datos SEK encontramos datos atípicos. Las dos bases de datos sus valores son asimétricos.	Para los datos atípicos, se tomó el criterio de la media para corregirlos.
Realizar el análisis comparativo de los métodos de interpolación mediante indicadores de desempeño.	Con el uso del Software Surfer los datos fueron ingresados para encontrar el interpolador con menor error.	Tuvimos los mejores interpoladores para la UTC: <i>Polinomio local</i> , <i>Medias móviles</i> y <i>Regresión polinómica</i> . Mientras que para SEK: <i>Distancia inversa</i> , <i>Kriging</i> y <i>Curvatura mínima</i> .	Para validar el mejor método de interpolación obtenido se lo valora con el error medio cuadrático (EMC), el cual mide la cantidad de error que existe entre un valor predicho y un observado.
Elaborar mapas de distribución espacial de los fosfatos en la MRC.	Para graficar los mapas de interpolación con el uso del Software ArcGis mediante Kriging que resulta ser el mejor método para las bases de datos.	Se obtuvo el mapa de concentración y distribución de fosfatos en la MRC.	La interpretación del mapa se la realizó tomando de referencia los puntos muestreados.

Fuente: (Quispe, 2018)

8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA

8.1 Microcuenca del río Cutuchi (MRC)

8.1.1 Ubicación geográfica. -

El río Cutuchi, se encuentra en la provincia de Cotopaxi, cantón Latacunga, sus aguas provienen de los páramos del Volcán Cotopaxi, atraviesa la ciudad de norte a sur, durante este recorrido muchas poblaciones e industrias desfogon sus aguas servidas sin un tratamiento previo.

La subcuenca del río Cutuchi es parte de la cuenca del río Pastaza. Gran parte de la provincia de Cotopaxi, y parte de la provincia de Tungurahua se encuentra atravesada por el río Cutuchi, el cual nace en el lado occidental del volcán Cotopaxi, llegando hasta el cantón Píllaro.

Tiene un área de cuenca de 2677 km² y una longitud de 60 km aproximadamente.

Las poblaciones cercanas al río utilizan sus aguas para el regadío de cultivos de ciclo corto, que al estar en el centro del país estos se comercializan en algunas ciudades del país. Haciendo referencia a la ganadería, las aguas del río sirven de abrevadero de ganado vacuno de los cuales se derivan la leche y carne (Hora, 2017).

8.1.2 Contaminación del río Cutuchi

La situación actual del río Cutuchi se la puede calificar de caótica, sus aguas representan un foco infeccioso para los campos, la ganadería y el consumo humano, se ha llegado a este punto por el descuido de las autoridades, por la falta de previsión de las industrias localizadas a lo largo del río y por el desorden en la planificación de asentamientos humanos, que han visto en el río un medio de desfogue de todas las aguas servidas, tanto del sector poblacional como industrial.

“Se estima en 18ton/día de escombros y de basura que posiblemente afecten directa o indirectamente a la calidad del agua, de igual manera se estima en 30.000 metros cúbicos diarios de aguas servidas de uso doméstico, que se vierten a los cauces naturales sin tratamiento. El Cutuchi arrastra basura de botaderos clandestinos, restos de animales muertos y aguas residuales de industrias, hospitales, mecánicas y del alcantarillado” (MAE, 2012).

Estudios demuestran que las aguas del río están contaminadas por elementos naturales y por acción del hombre. Lo primero es provocado por las sales y la alta alcalinidad y dureza del agua en todo el trayecto, que proviene del contacto del líquido con las formaciones volcánicas de la región.

El río Cutuchi, uno de los principales afluentes de la provincia de Cotopaxi, está contaminado. Según un informe de la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA), entre los elementos tóxicos que sobrepasan la norma ambiental vigente están cromo, manganeso, selenio y arsénico. Hay presencia de boro (químico que causa trastornos neurológicos y tumores) y aumenta después con el río Pumacunchi. Este último es altamente contaminante.

La contaminación humana se manifiesta por una alta concentración de grasas y aceites, especialmente en el tramo que atraviesa la zona urbana de Latacunga.

No hay tratamiento de las aguas residuales de uso doméstico, las cuales (unos 30 000 metros cúbicos por día) son vertidas a los cauces de los ríos Cununyacu, Yanayacu, Pumacunchi y Cutuchi (Hora, 2017).

El problema de la contaminación producida por la ciudad de Latacunga, afecta gravemente a

los sistemas de riego Latacunga-Salcedo-Ambato y Jiménez-Cevallos, que captan directamente las aguas servidas de esta ciudad. La calidad del río Cutuchi se deteriora significativamente a partir de la ciudad de Latacunga, hasta la confluencia del río Yanayacu. Al no existir un manejo adecuado de los desechos sólidos y vertidos de las industrias la contaminación de este río va cada vez en aumento y técnicos recomiendan solucionar la contaminación provocada por Latacunga, pues en este cantón hay 41 industrias metalúrgicas, curtiembres, molineras, talleres de ensamblaje, aglomerados, bebidas, procesamiento de carnes, floricultoras, plásticos y embutidos que son responsables de la infección del Cutuchi (SENAGUA, 2010).

8.2 Parámetros en calidad de agua

Al hablar de calidad de aguas sean para su vertido, tratamiento de depuración, potabilización o cualquier otro uso, es importante determinar una serie de parámetros físico-químicos mediante ciertos métodos, con objeto de conocer si el valor de estos parámetros se encuentra dentro del intervalo que marca la legislación vigente (Fernández, N., Solano, F., 2005).

Las aguas residuales cuentan con varios parámetros que se los clasifican en:

- ❖ Físicos
- ❖ Químicos
- ❖ Biológicos

8.2.1 Parámetros Físicos. -

8.2.1.1 Sabor y olor

Estos parámetros son determinaciones organolépticas y de determinación subjetiva, para dichas observaciones no existen instrumentos de observación, ni registro, ni unidades de medida. Tienen un interés muy evidente en las aguas potables dedicadas al consumo humano y podemos establecer ciertas "reglas":

Las aguas adquieren un sabor salado a partir de 300 ppm de Cl^- , y un gusto salado y amargo con más de 450 ppm de SO_4^{2-} . El CO_2 libre en el agua le da un gusto "picante". Trazas de fenoles u otros compuestos orgánicos le confieren un olor y sabor desagradables. (Alvarado.M.S, 2016).

8.2.1.2 Color

El color es la capacidad de absorber ciertas radiaciones del espectro visible. Existen muchas

causas y por ello no podemos atribuirlo a un constituyente en exclusiva, aunque algunos colores específicos dan una idea de la causa que los provoca, sobre todo en las aguas naturales. El agua pura es bastante incolora sólo aparece como azulada en grandes espesores.

En general presenta colores inducidos por materiales orgánicos de los suelos vegetales:

- Color amarillento debido a los ácidos húmicos.
- Color rojizo, suele significar la presencia de hierro.
- Color negro indica la presencia de manganeso.

El color, por sí mismo, no descalifica a un agua como potable, pero la puede hacer rechazable por estética, en aguas de proceso puede colorear el producto y en circuito cerrado algunas de las sustancias colorantes hacen que se produzcan espumas. Las medidas de color se hacen en laboratorio por comparación, y se suelen medir en ppm de Pt, las aguas subterráneas no suelen sobrepasar las 5 ppm de Pt, pero las superficiales pueden alcanzar varios cientos de ppm de Pt. La eliminación suele hacerse por coagulación-floculación con posterior filtración o la absorción en carbón activo (Fernández, N., Solano, F.,, 2005).

8.2.1.3 Turbidez

Es la dificultad del agua para transmitir la luz debido a materiales insolubles en suspensión, coloidales o muy finos y que se presentan principalmente en aguas superficiales, en general son muy difíciles de filtrar y pueden dar lugar a depósitos en las conducciones. La medición se hace por comparación con la turbidez inducida por diversas sustancias, la medición en ppm de SiO_2 ha sido muy utilizada, pero se aprecian variaciones según la sílice y la técnica empleadas. Otra forma es mediante célula fotoeléctrica, existen numerosos tipos de turbidímetros (Harris, 2001).

8.2.1.4 Conductividad y resistividad

La conductividad eléctrica es la medida de la capacidad del agua para conducir la electricidad y la resistividad es la medida recíproca. Son indicativas de la materia ionizable presente en el agua. El agua pura prácticamente no conduce la electricidad; por lo tanto, la conductividad que podamos medir será consecuencia de las impurezas presentes en el agua. Es por lo tanto un parámetro físico bastante bueno para medir la calidad de un agua, pero deben darse tres condiciones fundamentales para que sea representativa:

- No se trate de contaminación orgánica por sustancias no ionizables.

- Las mediciones se realicen a la misma temperatura.
- La composición del agua se mantenga relativamente constante.

El aparato para las mediciones se llama conductímetro, y básicamente lo que hace es medir la resistencia al paso de la corriente entre dos electrodos que se introducen en el agua, y se compara para su calibrado con una solución tampón de ClK a la misma temperatura y 20 °C (Rodier, 1990).

8.2.2 Parámetros Químicos. -

8.2.2.1 pH

El valor pH, la medida de la concentración de los iones hidrógeno. Nos mide la naturaleza ácida o alcalina de la solución acuosa.

La mayoría de las aguas naturales tienen un pH entre 6 y 8 (Rodier, 1990).

8.2.2.2 Dureza

La dureza, como ya sabemos, es debida a la presencia de sales de calcio y magnesio y mide la capacidad de un agua para producir incrustaciones.

Afecta tanto a las aguas domésticas como a las industriales y desde el punto de vista de la ósmosis inversa es uno de los principales parámetros que se deben controlar (Rodier, 1990).

Las aguas con menos de 50 ppm de CO^3Ca se llaman blandas.

Hasta 100 ppm de CO^3Ca , ligeramente duras.

Hasta 200 ppm de CO^3Ca , moderadamente duras.

Y a partir de 200 ppm de CO^3Ca , muy duras.

8.2.2.3 Alcalinidad

La alcalinidad es una medida de neutralizar ácidos. Contribuyen, principalmente, a la alcalinidad de una solución acuosa los iones bicarbonato (CO^3H^-), carbonato ($\text{CO}^3=$), y oxidrilo (OH^-), pero también los fosfatos, ácido silícico u otros ácidos de carácter débil. Su presencia en el agua puede producir CO^2 en el vapor de calderas que es muy corrosivo y también puede producir espumas, arrastre de sólidos con el vapor de calderas, etc. Se mide en las mismas unidades que la dureza. Se corrige por descarbonatación con cal, tratamiento ácido o desmineralización por intercambio iónico (Harris, 2001).

8.2.2.4 Coloides

Es una medida del material en suspensión en el agua que, por su tamaño alrededor de 10^{-4}

~10-5 mm, se comportan como una solución verdadera y atraviesa el papel de filtro. Los coloides pueden ser de origen orgánico (macromoléculas de origen vegetal) o inorgánico (oligoelementos: óxidos de hierro y manganeso).

Se eliminan por floculación y coagulación, precipitación y eliminación de barros. La filtración es insuficiente y se requiere ultrafiltración (Harris, 2001).

8.2.2.5 Acidez mineral

La acidez es la capacidad para neutralizar bases. Es bastante raro que las aguas naturales presenten acidez, no así las superficiales. Es responsable de corrosión se mide en las mismas unidades que la alcalinidad y se corrige por neutralización con álcalis (Harris, 2001).

8.2.2.6 Sólidos disueltos

Los sólidos disueltos o salinidad total, es una medida de la cantidad de materia disuelta en el agua. El origen puede ser múltiple tanto en las aguas subterráneas como en las superficiales. Para las aguas potables se fija un valor máximo deseable de 500 ppm, este dato por sí sólo no es suficiente para catalogar la bondad del agua. El proceso de tratamiento, entre otros, es la ósmosis inversa (Harris, 2001).

8.2.2.7 Sólidos en suspensión

Se suelen separar por filtración y decantación. Son sólidos sedimentables, no disueltos, que pueden ser retenidos por filtración. Las aguas subterráneas suelen tener menos de 1 ppm, las superficiales pueden tener mucho más dependiendo del origen y forma de captación (Harris, 2001).

8.2.2.8 Sólidos totales

Es la suma de los dos anteriores disueltos y en suspensión (Harris, 2001).

8.2.2.9 Cloruros

El ion cloruro Cl^- , forma sales muy solubles, suele asociarse con el ion Na^+ esto lógicamente ocurre en aguas muy salinas. Las aguas dulces contienen entre 10 y 250 ppm de cloruros, pero también se encuentran valores muy superiores fácilmente. Las aguas salobres contienen millares de ppm de cloruros, el agua de mar está alrededor de las 20.000 ppm de cloruros (Harris, 2001).

8.2.2.10 Sulfatos

El ion sulfato (SO_4^{2-}), corresponde a sales de moderadamente solubles a muy solubles. Las aguas dulces contienen entre 2 y 250 ppm y el agua de mar alrededor de 3.000 ppm. Recordemos, como ya hemos dicho, que el agua pura se satura de $\text{SO}_4^{2-}\text{Ca}$ a unas 1.500 ppm, lo que ocurre es que la presencia de otras sales de calcio aumenta la solubilidad (Harris, 2001).

8.2.2.11 Nitratos

El ion nitrato (NO_3^-) forma sales muy solubles y estables. En un medio reductor puede pasar a nitritos, nitrógeno e incluso amoníaco. Las aguas normales contienen menos de 10 ppm, y el agua de mar hasta 1 ppm.

Aguas con infiltraciones de zona de riego con contaminación por fertilizantes pueden tener hasta varios centenares de ppm. Concentraciones muy elevadas en agua de bebida puede producir la cianosis infantil.

Su presencia junto con fosfatos, en aguas superficiales, provocan la aparición de un excesivo crecimiento de algas es lo que se conoce como eutrofización (Harris, 2001).

8.2.2.12 Fosfatos

El ion fosfato (PO_4^{3-}) en general forma sales muy poco solubles y precipita fácilmente como fosfato cálcico. Como procede de un ácido débil contribuye, como ya hemos visto, a la alcalinidad del agua. No suele haber en el agua más de 1 ppm, salvo en los casos de contaminación por fertilizantes (Harris, 2001).

8.2.2.13 Fluoruros

El ion fluoruro (F^-), corresponde a sales de solubilidad muy limitada, suele encontrarse en cantidades superiores a 1 ppm. Hay quien mantiene que alrededor de dicha concentración puede resultar beneficioso para la dentadura, en nuestra opinión no es aconsejable añadirlo al agua con este objeto, ya que también se almacena en el organismo y no existen estudios a largo plazo de efectos secundarios (Harris, 2001).

8.2.2.14 Sílice

La sílice, SiO_2 se encuentra en el agua disuelta como ácido silícico $\text{SiO}_4^{4-}\text{H}_4$ y como materia coloidal; contribuye a provocar algo de alcalinidad en el agua. Las aguas naturales contienen entre 1 y 40 ppm, pudiendo llegar a las 100 ppm (Harris, 2001).

8.2.2.15 Bicarbonatos y Carbonatos

Existe una estrecha relación entre los iones bicarbonato HCO_3^- , carbonato CO_3^{2-} , el CO_2 gas y el CO_2 disuelto. El equilibrio, como ya vimos, está muy afectado por el pH; todos estos iones contribuyen, fundamentalmente, a la alcalinidad del agua.

Las aguas dulces suelen contener entre 50 y 350 ppm de ion bicarbonato, y si el pH es inferior a 8,3 no habrá ion carbonato. El agua de mar contiene alrededor de 100 ppm de ion bicarbonato (Harris, 2001).

8.2.2.16 Sodio

El ion sodio, Na^+ , el primero de los componentes catiónicos que vamos tratar corresponde a sales de solubilidad muy elevada y muy difíciles de precipitar; suele estar asociado con el ion cloruro Cl^- . El contenido en aguas dulces está entre 1 y 150 ppm, pero se pueden encontrar casos de hasta varios miles de ppm. Las aguas de mar contienen alrededor de 11.000 ppm (Harris, 2001).

8.2.2.17 Potasio

El ion potasio, K^+ , también corresponde a sales de muy alta solubilidad y difíciles de precipitar.

Las aguas dulces no suelen contener más de 10 ppm. El agua de mar contiene alrededor de 400 ppm. Vemos que son valores mucho menos importantes que los del catión sodio (Harris, 2001).

8.2.2.18 Calcio

El ion calcio, Ca^{2+} , forma sales generalmente poco solubles, en algunos casos de solubilidad muy moderada pero la mayoría son muy insolubles. Ya hemos visto que precipita fácilmente como carbonato cálcico. Es el principal componente de la dureza del agua y causante de incrustaciones. Las aguas dulces suelen contener de 10 a 250 ppm, pudiendo llegar hasta 600 ppm. El agua de mar alrededor de 400 ppm (Harris, 2001).

8.2.2.19 Magnesio

El ion magnesio, Mg^{2+} , tiene propiedades muy similares a las del ion calcio, aunque sus sales son un poco más solubles y difíciles de precipitar. El hidróxido de magnesio es, sin embargo, menos soluble. Las aguas dulces suelen contener entre 1 y 100 ppm.

El agua de mar contiene alrededor de 1.300 ppm. Su aparición en el agua potable con varios centenares de ppm provoca un sabor amargo y efectos laxantes (Harris, 2001).

8.2.2.20 Hierro

Es un catión muy importante desde el punto de vista de contaminación, aparece en dos formas: ion ferroso, Fe^{++} , o más oxidado como ion férrico, Fe^{+++} . La estabilidad y aparición en una forma u otra depende del pH, condiciones oxidantes o reductoras, composición de la solución, etc. Afecta a la potabilidad de las aguas y es un inconveniente en los procesos industriales por provocar incrustaciones (Harris, 2001).

8.2.2.21 Manganeso

El ion manganeso se comporta en la mayoría de los casos muy parecido al ión hierro, además de poder ser bivalente y trivalente positivo puede también presentarse con valencia +4 formando el MnO^2 que es insoluble. Rara vez el agua contiene más de 1 ppm y requiere un pH ácido (Fernández, 2003).

8.2.2.22 Metales tóxicos

Los más comunes son el arsénico, el cadmio, el plomo, el cromo, el bario y el selenio. Todos deben ser seriamente controlados en el origen de la contaminación (Fernández, N., Solano, F.,, 2005).

8.2.2.23 Gases disueltos

El dióxido de carbono, CO^2 , es un gas relativamente soluble que se hidroliza formando iones bicarbonato y carbonato, en función del pH del agua. Las aguas subterráneas profundas pueden contener hasta 1.500 ppm pero las superficiales se sitúan entre 1 y 30 ppm, un exceso hace que el agua sea corrosiva.

El oxígeno, O^2 , por su carácter oxidante juega un papel importante en la solubilización o precipitación de iones que presenta alguna forma insoluble, su presencia en el agua es vital para la vida superior y para la mayoría de los microorganismos (Fernández, 2003).

8.2.3 Parámetros Biológicos. -

Estos parámetros son indicativos de la contaminación orgánica y biológica; tanto la actividad natural como la humana contribuyen a la contaminación orgánica de las aguas: la descomposición animal y vegetal, los residuos domésticos, detergentes, etc.

Este tipo de contaminación es más difícil de controlar que la química o física y además los tratamientos deben estar regulándose constantemente. (Fernández, N., Solano, F.,, 2005)

8.2.3.1 Demanda biológica de oxígeno (DBO)

Mide la cantidad de oxígeno consumido en la eliminación de la materia orgánica del agua mediante procesos biológicos aerobios, se suele referir al consumo en 5 días (DBO₅), también suele emplearse, pero menos el (DBO₂₁) de 21 días. Se mide en ppm de O² que se consume (Palladino, 2011).

8.2.3.2 Demanda química de oxígeno (DQO)

Mide la capacidad de consumo de un oxidante químico, dicromato, permanganato, etc. Por el total de materias oxidables orgánicas e inorgánicas. Es un parámetro más rápido que el anterior ya que es de medición casi inmediata, la unidad de medida son ppm de O².

Las aguas no contaminadas tienen valores de DQO de 1 a 5 ppm. Las aguas residuales domésticas están entre 260 y 600 ppm (Palladino, 2011).

8.2.3.3 Carbón orgánico total

El COT es una medida del contenido de materia orgánica del agua. Es especialmente utilizable en pequeñas concentraciones. En presencia de un catalizador, el carbón orgánico se oxida a CO²; últimamente se está popularizando por la rapidez en la realización del análisis (Palladino, 2011).

8.2.4 Parámetros bacteriológicos

Generalmente se emplea un grupo de bacterias como indicadores de contaminación, esto es una práctica generalizada en todo el mundo, se supone que la no presencia de estas bacterias hace que el agua sea potable bacteriológicamente hablando son:

- Escherichia coli
- Streptococos fecales
- Clostridios (anaerobios y formadores de esporas).

Las aguas con un NMP inferior a 1 son satisfactoriamente potables.

8.3 Los fosfatos

Los fosfatos son las sales o los ésteres del ácido fosfórico. Tienen en común un átomo de fósforo rodeado por cuatro átomos de oxígeno en forma tetraédrica.

Los fosfatos secundarios y terciarios son insolubles en agua, a excepción de los de sodio, potasio y amonio. Otra familia de los fosfatos son los ortofosfatos que son más avanzados que los anteriores, contienen el anión PO₄³⁻. Estos se encuentran ampliamente distribuidos en la naturaleza, sobre todo en forma de apatita y forman parte esencial de dientes y huesos.

También son compuestos indispensables en la formulación de los abonos minerales, su ausencia limita el crecimiento de las plantas. Habitualmente en la agricultura se utilizan abonos ricos en fosfato, en la industria alimenticia los ortofosfatos se utilizan por ejemplo en la elaboración de queso procesado.

Los fosfatos forman una parte importante de la carga en las aguas residuales. Pueden ser eliminados por métodos fisicoquímicos precipitándolos con cloruro férrico (FeCl_3) o son retenidos en los fangos activos que se separan y luego pueden ser reconvertidos en compost para abonos orgánicos (Pütz, 2008).

8.3.1 Contaminación por fosfatos

El fósforo generalmente está presente en las aguas naturales en forma de fosfatos.

Los fosfatos, constituyentes naturales de rocas y minerales, forman parte de fertilizantes y estiércoles, de la materia orgánica proveniente de desechos urbanos, industriales y residuos agrícolas, así como también de los detergentes de uso industrial y doméstico.

Los fosfatos pueden llegar al agua con el escurrimiento agrícola, los desechos industriales y las descargas de aguas negras.

Los fosfatos, al igual que los nitratos, son nutrientes para las plantas. Cuando entra demasiado fosfato al agua, florece el crecimiento de las plantas.

La carga de fosfato total se compone de ortofosfato + polifosfato + compuestos de fósforo orgánico, siendo normalmente la proporción de ortofosfato la más elevada. Los fosfatos existen en forma disuelta, coloidal o sólida (Andina, 2005).

El contenido de fósforo en las aguas se debe a los vertidos urbanos (detergentes, fosas sépticas, etc.) y por otra parte a los vertidos de la industria agroalimentaria (abonos, piensos compuestos, etc.) (Pütz, 2008).

La fuente principal de los fosfatos orgánicos son los procesos biológicos. Estos pueden generarse a partir de los ortofosfatos en procesos de tratamiento biológico o por los organismos acuáticos del cuerpo hídrico.

Las normas de calidad de agua no han establecido un límite definitivo. Sin embargo, es necesario estudiar la concentración de fosfatos en el agua, su relación con la productividad biológica y los problemas que estos pueden generar en el proceso de filtración y en la producción de olores (Pütz, 2008).

En el país existe una norma que regula los límites máximos permisibles de descargas puntuales y no puntuales; el texto unificado de legislación secundaria del ministerio del

ambiente (TULSMA), estipula que el nivel máximo de concentración permitido de fosfatos los cuales pueden ser producidos tanto por fuentes naturales como antropogénicas, siendo estas últimas las responsables del importante aumento en su concentración observado en los últimos años. Así, las industrias lácteas constituyen una fuente importante aporte de fosfatos a las aguas del río Cutuchi.

El problema ambiental más importante de la industria láctea es la generación de aguas residuales, tanto por su volumen como por la carga contaminante asociada, fundamentalmente de carácter orgánico. La mayor parte del agua consumida en el proceso productivo se convierte finalmente en agua residual.

La industria láctea genera cantidades significativas de residuos líquidos, mayormente leche diluida, leche separada, crema y suero, incluyendo grasas, aceites, sólidos suspendidos y nitrógeno. La descarga de éstos sin tratamiento previo se convierte en un foco contaminante.

En España, el Instituto Tecnológico Agroalimentario (AINIA) ha estimado que la relación de litros de agua residual por litro de leche procesada es de 1 a 4. Los vertidos procedentes de restos de leche, lactosuero (contiene el 50% de nutrientes del producto inicial) y salmueras aumentan considerablemente la carga contaminante del vertido final (García GM, 1993).

Sin ninguna duda, el principal subproducto de la industria láctea es el suero de quesería el cual retiene cerca del 55% de los componentes de la leche, y se presenta como un líquido amarillo-verdoso que se obtiene tras la separación de la cuajada afectando su composición el tipo de coagulación empleada en la elaboración del queso, según sea láctica o enzimática se obtienen sueros ácidos o dulces; sus componentes más abundantes como se indica en la Tabla 2 son sólidos totales, lactosa, proteínas solubles, grasa, calcio, fosfatos, cloruros (Behr, 2003).

Tabla 3. Composición del lacto suero dulce y ácido

Componente	Lacto suero dulce g/L	Lacto suero ácido g/L
Sólidos totales	63,0 – 70,0	63,0 – 70,0
Lactosa	46,0 – 52,0	44,0 – 46,0
Proteína	6,0 – 10,0	6,0 – 8,0
Grasa	0,5 – 7,0	0,4 – 6,0
Calcio	0,4 – 0,6	1,2 – 1,6
Fosfatos	1,0 – 3,0	2,0 – 4,6
Lactatos	2,0	6,4
Cloruros	1,1	1,1
pH	5,6 – 6,1	4,3 – 4,7

Fuente: (Behr, 2003)

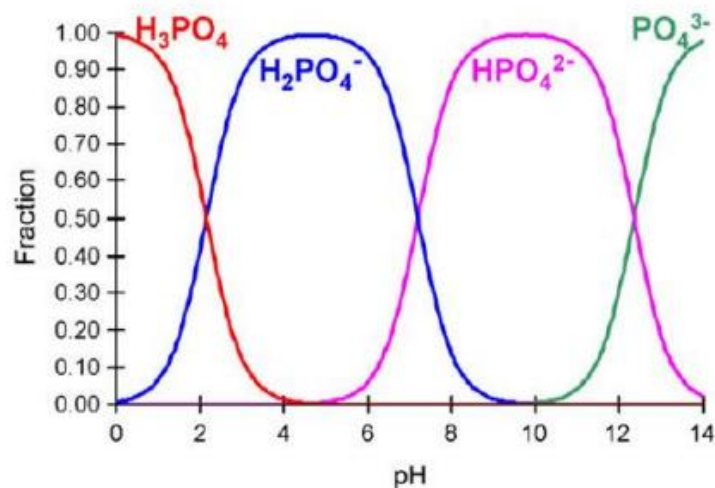
8.3.2 Ciclo del fósforo en aguas residuales

El fósforo puede llegar a un cuerpo de agua dulce proveniente de aguas de agricultura o bien en menor cantidad de desechos humanos. El fósforo se puede encontrar en forma de fosfatos, que se clasifican a su vez en ortofosfatos, polifosfatos o fosfatos orgánicos. Generalmente, suelen presentarse en forma de disolución, aunque también pueden estar presentes en forma de partículas granuladas, constituyendo esta cifra entre un 5-15 % del total (Marín, 2003).

Los ortofosfatos constituyen entre un 15-35 % del total disuelto, mientras que los polifosfatos constituyen el 65-85 % restante. Bien es cierto que estos últimos, mediante hidrólisis pueden revertirse a ortofosfatos, aunque éste es un proceso lento (Navarro, 2008).

Dependiendo del valor de pH, predominará una especie u otra de fósforo, según se muestra en el gráfico 1:

Gráfico 1. Especiación del fósforo en función del pH



Fuente: (Navarro, 2008)

Por todo ello, se puede afirmar que el fósforo total presente en aguas residuales corresponde a la suma del fósforo disuelto (tanto orgánico como inorgánico), más el que se encuentra como partículas en suspensión. Las aguas municipales pueden contener entre 5-20 mg/dm³ de fósforo total, del que entre 1-5 mg/dm³ es orgánico y el resto es inorgánico (Calderini, 2005).

El fósforo orgánico proviene tanto de los residuos alimenticios como de micciones humanas. El inorgánico en cambio, proviene de residuos de jabones y detergentes comerciales, además de aguas de lluvia que contienen residuos de fertilizantes agrícolas.

La concentración de fosfatos varía dependiendo de varios factores, pero sin duda el que más influye es la utilización de las tierras de los alrededores. En el caso de que las tierras cercanas

se destinen a cultivos será mayor, mientras que en zonas más urbanizadas será menor (Vásquez, 2015).

8.3.3 Problemas ambientales por exceso de fósforo y nitrógeno

Eutrofización Según la Directiva Marco del Agua, (91/271/CEE), la eutrofización se define como el “aumento de nutrientes en el agua, especialmente de los compuestos de nitrógeno y/o fósforo, que provoca un crecimiento acelerado de algas y especies vegetales superiores, con el resultado de trastornos no deseados en el equilibrio entre los organismos presentes en el agua y en la calidad del agua a la que afecta”.

La eutrofización o eutroficación es un proceso natural de envejecimiento del agua estancada con exceso de nutrientes, acumulando en el fondo materia vegetal en descomposición. Tiene lugar en algunas zonas de aguas tranquilas o estancas, como lagos y lagunas y es un fenómeno que se ve favorecido por el aumento de temperatura en las estaciones más cálidas. La gran cantidad de fertilizantes aportados al suelo (nitratos y fosfatos, generalmente en forma de NO_2 y P_2O_5) no pueden ser degradados por los microorganismos presentes en el agua produce el crecimiento masivo de algas y otras especies vegetales, que al morir consumen oxígeno durante su descomposición, por lo que, con el tiempo, el agua experimenta condiciones anaeróbicas (SACSA, 2015).

Debido a estas nuevas condiciones anaeróbicas, se produce la muerte de peces y demás flora y fauna acuática. Éste fenómeno no es producido solamente por fertilizantes, ya que la materia orgánica de la basura y los detergentes hechos en base fosfatada también contribuyen a la eutrofización, si bien es cierto que en menor medida. Como se ha comentado anteriormente, la eutrofización se produce de forma natural, refiriéndose al proceso natural de aportación de nutrientes, mientras se le entiende como un proceso perjudicial para el medio ambiente debido al exceso de nutrientes aportados por parte del hombre procedentes sobre todo de la agricultura (Abbasi, 2002).

Los cambios que se producen debido a la eutrofización son de tres tipos:

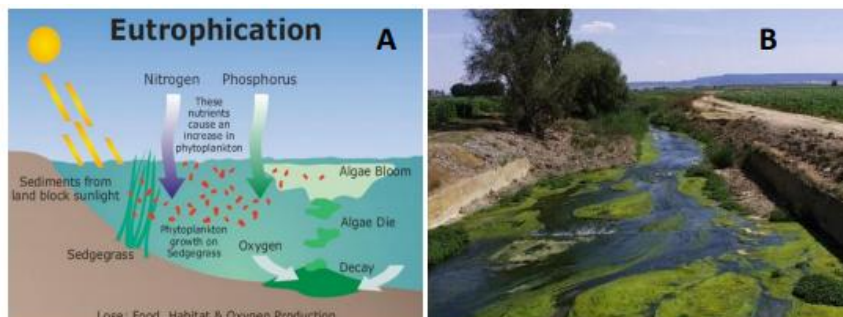
- a) nivel biológico: crecimiento de fitoplancton, de la actividad bacteriana y muerte de especies animales y vegetales.
- b) nivel físico: circulación más lenta y estancamiento del agua debido a los sedimentos del fondo y cambio de coloración del agua.
- c) nivel químico: disminución severa del oxígeno disuelto, incremento de DBO, compuestos nitrogenados y fosfatos.

Para evitar este fenómeno es imprescindible la utilización de algunos métodos que prevengan la contaminación por fosfatos y nitratos, como, por ejemplo:

- Practicar agricultura ecológica mediante el uso de abonos verdes como el estiércol. - Ajustar los aportes de abonos ya que un exceso de los mismos supone un costo excesivo para el agricultor sin que mejore la cosecha, pero perjudicando el medio ambiente.
- Aplicar correctamente los abonos, fraccionándolos en aportes pequeños y repartidos a lo largo del ciclo de cultivo.
- Evitar la erosión del suelo y mantenerlo con vegetación (Calderini, 2005).

En el gráfico 2 se puede ver un esquema-resumen del ciclo de la eutrofización (A), mientras que, a la derecha, se muestra un ejemplo de un río eutrofizado (B). Nótese la cantidad excesiva de algas presentes en el río.

Gráfico 2. Ciclo (A) y ejemplo de eutrofización (B)



Fuente: (Calderini, 2005)

8.3.4 Determinación de fosfatos

Los fosfatos existen en forma disuelta, coloidal o sólida. Antes de realizar un análisis, por tanto, es importante considerar qué tipo de fosfatos deberán determinarse. Si solamente se va a determinar ortofosfato (por ejemplo, para el control de la precipitación de fósforo), sólo hay que filtrar la muestra antes de analizarla. Sin embargo, si se va a determinar la concentración de fósforo total (por ejemplo, para el control de los valores límite), primero hay que homogeneizar la muestra y después hidrolizarla (someterla a digestión) (Pütz, 2008).

Las aguas naturales contienen normalmente cantidades de fosfatos por debajo de 1 mg/l. Cantidades superiores de estos nutrientes favorecen el crecimiento de algas que consumen el oxígeno del medio acuático y provocan la desaparición de especies vegetales y animales (Harris, 2001).

8.3.5 Determinación de fosfatos por colorimetría

El método descrito por Koroleff (1977) para una digestión con UV. Este método somete a la muestra a un proceso previo y en continuo de digestión de dos etapas en autoclave a 110°C y alta presión (0,09 MPa). En la primera etapa se añade un agente oxidante de persulfato alcalino y, en segunda etapa, se añade un ácido inorgánico. Una vez digerida el P se determinan los por colorimetría previa reacción con molibdato y reducción con ácido ascórbico, de manera que el complejo azul de molibdeno final es detectado en el interior de un fotómetro a 800 nm (Moreno, 2000).

8.3.6 Determinación de fosfatos por espectrofotometría

La espectrofotometría es una de las técnicas experimentales más utilizadas para la detección específica de moléculas de distinta naturaleza (contaminantes, biomoléculas, etc.) y estado de agregación (sólido, líquido, gas). El fundamento físico-químico de la espectrofotometría está relacionado con la capacidad de las moléculas de absorber energía luminosa y almacenarla en forma de energía interna

El método se basa en la reacción del ion fosfato con molibdato (MoO_4^{2-}) que da lugar a fosfomolibdato ($[\text{PO}_4\text{12MoO}_3]^{3-}$). Este último por reducción origina un compuesto cuya estructura exacta se desconoce, denominado “azul de molibdeno”. Como reductores se pueden utilizar muchos compuestos, de los cuales el sulfohidrato de hidrazina, el cloruro estañoso, el ácido 1,2,4-aminonaftosulfónico y el ácido ascórbico son los más empleados (Harris, 2001).

8.3.7 Eliminación de biológica de los fosfatos.

Tradicionalmente los fosfatos se han eliminado del agua residual mediante precipitación química, no obstante, los tratamientos biológicos para eliminar este nutriente son cada vez más habituales. En un proceso de lodos activos se produce la incorporación de ortofosfatos, polifosfatos y fósforo orgánico al metabolismo celular para almacenar energía en forma de ATP. Esta incorporación supone la eliminación de un 10-30 % del fósforo del afluente. Los procesos biológicos desarrollados específicamente para la eliminación del fósforo están basados en que, bajo ciertas condiciones aerobias, algunas bacterias son capaces de retener una cantidad de fósforo más elevada de la que necesitan para su metabolismo. Para que dichas bacterias se desarrollen correctamente necesitan la presencia de ácidos orgánicos volátiles que, a su vez, se generan a partir de la degradación de la materia orgánica del agua en condiciones anaerobias. Estos dos requerimientos implican que la eliminación biológica de fósforo deba hacerse mediante la alternancia de etapas anaerobias y aerobias:

- Etapas anaerobias. La célula utiliza la energía acumulada para metabolizar los ácidos volátiles vaciando su stock de polifosfatos en forma de fosfatos al agua.
- Etapas aerobias. Los fosfatos presentes en el agua son convertidos en polifosfatos incrementando la reserva energética de la célula. Para acumular esta energía se metabolizan la materia orgánica generándose CO_2 y H_2O (Rodier, 1990).

8.4 Análisis exploratorio de datos

El análisis exploratorio tiene como objetivo identificar el modelo más adecuado para representar la población de la cual proceden los datos muestrales. Dicho análisis se basa en gráficos y estadísticos que permiten explorar la distribución identificando características tales como: valores atípicos o outliers, saltos o discontinuidades, concentraciones de valores, forma de la distribución, etc (García Pérez, 1992).

8.4.1 Medidas de resumen

Las medidas de resumen sirven para describir en forma resumida un conjunto de datos que constituyen una muestra tomada de alguna población. Podemos distinguir las siguientes:

8.4.1.1 Media

La media es el promedio de los datos, que es la suma de todas las observaciones dividida entre el número de observaciones, se la utiliza para describir la muestra con un solo valor que representa el centro de los datos; muchos análisis estadísticos utilizan la media como una medida estándar del centro de la distribución de los datos (Belete, 2015).

8.4.1.2 Desviación estándar

La desviación estándar es la medida de dispersión más común, que indica qué tan dispersos están los datos alrededor de la media, un valor de desviación estándar más alto indica una mayor dispersión de los datos (Suárez, 2004).

8.4.1.3 Mediana.

La mediana es una medida de tendencia central y es el valor tal que, ordenados los datos de menor a mayor, deja por debajo y arriba el 50% de los datos de la distribución (Belete, 2015).

8.4.1.4 Error estándar

El error estándar de la media estima la variabilidad entre las medias de las muestras que usted obtendría si tomara muestras repetidas de los datos. Un valor del error estándar de la media más bajo indica una estimación más precisa de la media de los datos (Batista-Legra, 2103).

8.4.1.5 Coeficiente de variación

El coeficiente de variación es una medida de dispersión que describe la variación en los datos en relación con la media. El coeficiente de variación se ajusta de manera que los valores estén en una escala sin unidades. Gracias a este ajuste, usted puede utilizar el coeficiente de variación en lugar de la desviación estándar para comparar la variación de los datos que tienen unidades diferentes o medias muy diferentes. Mientras mayor sea el coeficiente de variación, mayor será la dispersión en los datos (Suárez, 2004).

8.4.1.6 Valor máximo y valor mínimo

El valor máximo es un valor muestral de forma que por encima de este no hay valores muestrales y el valor mínimo por otro lado es un valor muestral de forma que por debajo de este no hay valores muestrales de los valores de una variable (Belete, 2015).

8.4.1.7 Cuartil 1 y cuartil 3

Son medidas de posición no central que se calculan ordenando los datos de menor a mayor y se buscan los tres valores que dividen al conjunto de datos en cuatro partes de igual cantidad de datos. Entre C1 Y C3 se encuentra el 50% de los datos (Belete, 2015).

8.4.1.8 Asimetría

Es una medida de forma de una distribución que permite identificar y describir la manera como los datos tiende a reunirse de acuerdo con la frecuencia con que se hallen dentro de la distribución (Daza, 2006).

8.4.1.9 Curtosis

La curtosis es una medida de forma mide el grado de agudeza o achatamiento de una distribución con relación a la distribución normal, es decir, mide cuán escarpada o achatada es una distribución (Daza, 2006).

8.4.2 Gráficas estadísticas

Un estudio o investigación, que incluya recabar datos acerca de diversos tipos de variables estadísticas, se ve enriquecido con la elaboración de distintos tipos de gráficas estadísticas (García Pérez, 1992).

8.4.2.1 Gráficos de cajas Box-plot

El gráfico de caja (“box-plot” en inglés) es una forma de presentación estadística destinada, fundamentalmente, a resaltar aspectos de la distribución de las observaciones en una o más

series de datos cuantitativos. Permiten conocer cómo se distribuyen los datos dentro de una variable. A diferencia de los histogramas que requieren un tamaño de muestra de al menos 30 casos para ser útiles, los gráficos de caja pueden ser construidos con tan solo 5 casos y aportan más detalles acerca de las colas de la distribución. Los diagramas de caja son especialmente útiles cuando la distribución de una variable es asimétrica o se aleja de la distribución normal. En este tipo de casos interpretar una variable en función de su media o desviación estándar es un error puesto que estos estimadores no describen fielmente las características de nuestra muestra. En algunas ocasiones, cuando la muestra es lo suficientemente grande, se dibujan unas muescas dentro de los cuadrados que representan los intervalos de confianza al 95% para la mediana. Con estas muescas podemos evaluar si las diferencias entre dos variables son significativas si las muescas no se superponen entre ambas variables (Palladino, 2011).

8.4.3 Interpolación

Es frecuente la necesidad de buscar funciones apropiadas a partir de datos que proceden de una población en la que se ha realizado un registro de informaciones o estudio estadístico, para que cumplan determinadas condiciones que nos interesen, como que sean continuas, derivables, etc.

Un problema clásico de la matemática, se plantea al querer calcular el valor de una función en un punto cuando no se conoce la función o incluso cuando la función no existe, conociéndose únicamente una serie de puntos. La resolución aproximada del problema consiste en encontrar una función fácil de construir y de evaluar, que coincide con la función objeto del problema con los datos de que se dispone. Se dice que la función así construida interpola a la función dada con respecto a los datos.

Se trata de determinar fundamentalmente dos cosas:

1. Los datos que se desea que sean comunes a la función desconocida y a la función interpoladora.
2. Qué tipo de función se va a utilizar como función interpoladora o función de interpolación.

La finalidad del cálculo de las funciones de interpolación se centra en la necesidad de obtener valores intermedios (INTERPOLACIÓN) o de valores fuera del intervalo para el que se dispone de datos (EXTRAPOLACIÓN) (Daza, 2006).

En ingeniería y algunas ciencias es frecuente disponer de un cierto número de puntos obtenidos por muestreo o a partir de un experimento y pretender construir una función que los ajuste.

Un problema estrechamente ligado con el de la interpolación es la aproximación de una función complicada por una más simple. Si tenemos una función cuyo cálculo resulta costoso, podemos partir de un cierto número de sus valores e interpolar dichos datos construyendo una función más simple. En general, por supuesto, no obtendremos los mismos valores evaluando la función obtenida que si evaluamos la función original, si bien dependiendo de las características del problema y del método de interpolación usado la ganancia en eficiencia puede compensar el error cometido (Palomares, 2016).

8.4.4 Métodos de interpolación matemáticos

8.4.4.1 Distancia inversa ponderada

También conocido como IDW por sus siglas en inglés. Este método supone que la influencia que ejerce el valor observado disminuye a medida que aumenta la distancia entre el punto “real” y el estimado.

El método IDW permite aumentar o disminuir la influencia que tienen las observaciones de la muestra de datos sobre los valores interpolados. Potencias mayores se reflejan en valores interpolados más localizados y menos promediados; sin embargo, la influencia de los puntos decae rápidamente en función de la distancia. Una de las principales ventajas del método es que permite establecer líneas de quiebre, de manera que prohíbe que se interpolen puntos separados por algún obstáculo que no se encuentra totalmente reflejado en los datos de entrada al modelo. Este método es común para interpolar profundidad y contaminación del agua subterránea (González, 2011).

8.4.4.2 Curvatura mínima

Este método de interpolación trata de producir la continua de mínima curvatura sobre la cual todos los puntos de observación están anclados utilizando el parámetro de tensión interna y la velocidad de convergencia mediante el factor de relajación (Fallas, 2007).

8.4.4.3 Método de sherpard modificado.

Este método sigue la misma línea de la distancia inversa ponderada variando únicamente en su forma de distribuir los pesos de los datos vecinos. Para esto utiliza una función que depende, no solo de las distancias entre el punto a interpolar y los datos vecinos, sino también de la distancia del punto a interpolar más alejado (EMS, 2008).

8.4.4.4 Vecino natural.

Este método está basado en el principio del polígono de Thiessen, que utiliza un promedio ponderado de las observaciones vecinas, en donde la ponderación es proporcional al área obtenida al crear un nuevo polígono de Thiessen como resultado de incluir un nuevo punto de set de datos (Fallas, 2007).

8.4.4.5 Vecino más cercano.

Con este método se predice el valor de un atributo en un punto no muestreado basado en el valor de la muestra más cercana, dibujando perpendicularmente bisectrices entre puntos no muestreados formando el polígono de Thiessen (Li & Heat, 2008).

8.4.4.6 Regresión polinomial.

Se utiliza para definir tendencias y patrones a gran escala en sus datos, el mismo que no es realmente un interpolador que no intenta predecir valores Z desconocidos, pero existen opciones que se puede utilizar para definir el tipo de superficie de tendencia (Theil, 1992).

8.4.4.7 Base radial.

La base radial permite interpolar valores a partir de un conjunto de puntos de muestreo, esta basado en una ecuación multi-cuadrática que es considerada como el mejor interpolador, acepta barreras y líneas de inflexión (Chen, Cowan, & Grant., 1991).

8.4.4.8 Triangulación con interpolación lineal.

Se basa en la contracción de una red de triángulos con el propósito de identificar las observaciones más cercas para ser usadas en la interpolación mediante un ajuste polinomial lineal (Li & Heat, 2008).

8.4.4.9 Medias móviles.

El método de media móvil asigna valores promediando los datos dentro de la elipse de búsqueda. Se utiliza los datos vecinos centrando la elipse de búsqueda. El valor de salida se establece igual al promedio aritmético de los datos vecinos identificados (Thompson & Weil, 1952).

8.4.4.10 Métrica de datos.

La métrica de datos es un método que se basa en la creación de grillas de información de datos observados. Se definen conjuntos de datos asociados a la grilla y sobre ellos se realiza la búsqueda de parámetros estadísticos (desviación estándar, varianza y coeficiente de variación)

aplicada a cada nodo y al conjunto de datos asociados para luego usarlos en la estimación (Yang, Kao, Lee & Hung, 2004).

8.4.4.11 Polinomio local.

El método polinomio local asigna valores usando un ajuste de mínimos cuadrados ponderados, con datos dentro de la elipse de búsqueda de la cuadrícula (Yang, Kao, Lee & Hung, 2004).

8.4.5 Método geoestadístico

La geoestadística es una herramienta imprescindible cuando se desea analizar los patrones de distribución espacial de las variables ecológicas y medioambientales a partir de muestreos realizados en el área de interés. Asimismo, los procedimientos de estimación geoestadísticos, conocidos como "krigeado", permiten la realización de las "mejores interpolaciones" en aquellos lugares donde no se conoce la magnitud del atributo investigado. Con la información procedente de la estimación se puede realizar una serie de mapas sobre la distribución de la variable en el área experimental (Moral García, 2004).

Aunque la geoestadística ha supuesto una mejora considerable en la representación gráfica aplicada a la ecología y a las ciencias ambientales, para conseguir unos buenos resultados, es preciso conocer sus fundamentos y las asunciones sobre las que se basa.

La geoestadística comprende a un conjunto de herramientas y técnicas que sirven para analizar y predecir los valores de una variable que se muestra distribuida en el espacio o en el tiempo de una forma continua. Debido a su aplicación orientada a los SIG, también se podría definir como la estadística relacionada con los datos geográficos, de ahí que se le conozca además como estadística espacial (Moral García, 2004).

Todo trabajo geoestadístico tiene que llevarse a cabo en tres etapas:

- 1.** Análisis exploratorio de los datos. Se estudian los datos muestrales sin tener en cuenta su distribución geográfica. Sería una etapa de aplicación de la estadística. Se comprueba la consistencia de los datos, eliminándose los erróneos e identificándose las distribuciones de las que provienen.
- 2.** Análisis estructural. Estudio de la continuidad espacial de la variable. Se calcula el variograma, u otra función que explique la variabilidad espacial, y se ajusta al mismo un variograma teórico.
- 3.** Predicciones. Estimaciones de la variable en los puntos no muestrales, considerando la

estructura de correlación espacial seleccionada e integrando la información obtenida de forma directa en los puntos muestrales, así como la conseguida indirectamente en forma de tendencias conocidas.

8.4.5.1 Kriging

Hay una segunda familia de métodos de interpolación que consta de métodos geoestadísticos, como kriging, que está basado en modelos estadísticos que incluyen la auto correlación, es decir, las relaciones estadísticas entre los puntos medidos. Kriging es uno de los más complejos y potentes métodos de interpolación es un procedimiento probabilístico-geoestadístico que permite generar una superficie estimada a partir de un conjunto de puntos (con valores específicos) dispersados.

Este método mide las distancias entre todos los posibles pares de puntos de la muestra y usa esta información para modelar la correlación espacial para la superficie particular que se está interpolando (Moral García, 2004).

9. HIPÓTESIS

9.1 Hipótesis Alternativas

Los resultados de los métodos de interpolación permitirán conocer la distribución espacial de la concentración de fosfatos en la microcuenca del río Cutuchi.

9.2 Hipótesis Nula

Los resultados de los métodos de interpolación no permitirán conocer la distribución espacial de la concentración de fosfatos en la microcuenca del río Cutuchi.

10. METODOLOGÍA (TÉCNICAS, MÉTODOS, INSTRUMENTOS)

10.1 Área de estudio

La zona de estudio comprende el área que abarca la microcuenca del río Cutuchi, la cual es parte de la cuenca del río Pastaza. Este afluente nace en los paramos de los deshielos del volcán Cotopaxi, recorre de norte a sur la provincia del mismo nombre (Telégrafo, 2015).

La microcuenca tiene un área de cuenca de 2677 km² y una longitud de 60 km aproximadamente.

La cuenca se desarrolla desde una altura de 5.897 msnm. que corresponde a las cumbres del Volcán Cotopaxi, hasta los 2400 msnm. correspondiente a la confluencia de los ríos Cutuchi y

10.2 Análisis exploratorio de datos (AED)

Con las dos bases de datos listas, mediante el uso técnicas estadísticas y gráficas que nos permitieron establecer un entendimiento básico del comportamiento de los datos de monitoreos de fosfatos en la microcuenca del Cutuchi tanto de la base de datos de la Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC) y SEK.

El AED se realizó mediante medidas de resumen como: media, desviación estándar, mediana, error experimental, coeficiente de variación, valor máximo, valor mínimo, cuartil 1, cuartil 3, asimetría y curtosis y métodos gráficos como BoxPlots, realizado mediante el Software Infostat.

10.3 Procesamiento con Surfer

Después del análisis exploratorio de datos, y con la utilización del Software Surfer, el cual nos oferta diferentes tipos de interpoladores, se ingresó los datos previamente ordenandos para comprobar el mejor método de interpolación que se ajusta en las dos bases de datos.

- Kriging
- Distancia inversa ponderada
- Curvatura mínima
- Método sherpap modificado
- Vecino natural
- Vecino más cercano
- Regresión polinomial
- Base radial
- Triangulación con interpolación lineal
- Medias móviles
- Métrica de datos

10.4 Validación del método

La validación de método, es el proceso por el cual se determina el mejor interpolador que se ajusta para la estimación de la concentración y variación de los fosfatos. Es importante conocer cuál de los 12 interpoladores empleados es el mejor, tanto para la base de datos de la UTC como para la de la Universidad SEK.

La validación del método nos ayuda a verificar la eficacia y las características de desempeño de los estimadores de interpolación.

En este paso es importante mencionar que para validar el método es necesario el error medio cuadrático (EMC) que mide la cantidad de error que hay entre dos conjuntos de datos. En otras palabras, compara un valor predicho y un valor observado o conocido.

La fórmula de cálculo del EMC se detalla a continuación:

$$EMC = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (A_i - F_i)^2}$$

Donde:

n = número de datos

A_t = valor predicho (datos interpolados)

F_t = valor observado o conocido (datos reales)

10.5 Mapas de interpolación

Los mapas de interpolación de la variación espacio temporal de los fosfatos en la MRC se realizaron con el Software ArcGis, que normalmente proporciona herramientas de análisis espacial para calcular estadísticas de las entidades y realizar actividades de geoprocésamiento como la interpolación de datos.

Para la interpretación de los resultados el cauce del río que pertenece a la parte de estudio se dividió en 5 afluentes: Isinche, Tomacuntze, Saquimala, Cutuchi 1 y Cutuchi 2.

Se utilizó el interpolador geoestadístico Kriging Ordinario el cual es uno de los mejores métodos obtenidos, al igual que en Infostat se ejecuta un rápido análisis del AED con ello de la misma forma se conoce la distribución de los datos y en el caso que no exista este comportamiento normal se ejecutará una transformación logarítmica con el objetivo de que los datos se ajusten y tanto la media como la mediana sean parecidas.

11. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

11.1 Análisis exploratorio de datos

Para el AED, con el Software Infostat las bases de datos fueron ingresadas al programa para evaluar: la calidad de datos, explorar la distribución, identificar valores atípicos y detectar el patrón de comportamiento de los fosfatos.

11.1.1 Base de datos UTC.

En esta base de datos está conformada de 13 puntos de muestreo, cada punto tiene 11 muestras realizadas desde el mes de septiembre de 2010 hasta el mes de julio del año 2011.

Los 143 datos resultantes fueron ingresados a Infostat para obtener las medidas de resumen correspondientes.

Tabla 4. Base de datos de fosfatos de la UTC

PUNTOS	X	Y	FOSFATO	PUNTOS	X	Y	FOSFATO	PUNTOS	X	Y	FOSFATO
P1	766188	9917672	1,50	P2	766323	9915180	0,66	P3	763440	9901733	0,10
P1	766188	9917672	1,05	P2	766323	9915180	0,66	P3	763440	9901733	0,10
P1	766188	9917672	1,02	P2	766323	9915180	0,60	P3	763440	9901733	0,10
P1	766188	9917672	1,02	P2	766323	9915180	0,60	P3	763440	9901733	0,10
P1	766188	9917672	1,02	P2	766323	9915180	0,60	P3	763440	9901733	0,10
P1	766188	9917672	1,02	P2	766323	9915180	0,60	P3	763440	9901733	0,10
P1	766188	9917672	1,42	P2	766323	9915180	0,98	P3	763440	9901733	1,44
P1	766188	9917672	1,42	P2	766323	9915180	0,98	P3	763440	9901733	1,44
P1	766188	9917672	1,42	P2	766323	9915180	0,98	P3	763440	9901733	1,44
P1	766188	9917672	1,42	P2	766323	9915180	0,98	P3	763440	9901733	1,44
P1	766188	9917672	1,42	P2	766323	9915180	0,98	P3	763440	9901733	1,44
P4	765089	9895459	0,13	P5	772129	9918060	0,14	P6	772393	9918447	0,66
P4	765089	9895459	0,13	P5	772129	9918060	0,11	P6	772393	9918447	0,66
P4	765089	9895459	0,13	P5	772129	9918060	0,11	P6	772393	9918447	0,66
P4	765089	9895459	0,13	P5	772129	9918060	0,11	P6	772393	9918447	0,66
P4	765089	9895459	0,13	P5	772129	9918060	0,11	P6	772393	9918447	0,66
P4	765089	9895459	0,13	P5	772129	9918060	0,11	P6	772393	9918447	0,66
P4	765089	9895459	0,75	P5	772129	9918060	0,63	P6	772393	9918447	0,75
P4	765089	9895459	0,75	P5	772129	9918060		P6	772393	9918447	0,75
P4	765089	9895459	0,75	P5	772129	9918060	0,63	P6	772393	9918447	0,75
P4	765089	9895459	0,75	P5	772129	9918060	0,63	P6	772393	9918447	0,75
P4	765089	9895459	0,75	P5	772129	9918060	0,63	P6	772393	9918447	0,75
P7	765330	9906313	0,56	P8	764315	9898242	0,09	P9	764948	9896593	0,23
P7	765330	9906313	0,56	P8	764315	9898242	0,09	P9	764948	9896593	0,24
P7	765330	9906313	0,66	P8	764315	9898242	0,09	P9	764948	9896593	0,10
P7	765330	9906313	0,56	P8	764315	9898242	0,09	P9	764948	9896593	0,24
P7	765330	9906313	0,56	P8	764315	9898242	0,09	P9	764948	9896593	0,24
P7	765330	9906313	1,10	P8	764315	9898242	0,32	P9	764948	9896593	0,73
P7	765330	9906313	1,10	P8	764315	9898242	0,32	P9	764948	9896593	0,73
P7	765330	9906313	1,10	P8	764315	9898242	0,32	P9	764948	9896593	0,73
P7	765330	9906313	1,10	P8	764315	9898242	0,32	P9	764948	9896593	0,73

P7	765330	9906313	1,10	P8	764315	9898242	0,32	P9	764948	9896593	0,73
P10	765588	9896070	0,40	P11	767312	9888504	0,13	P12	767373	9888511	0,10
P10	765588	9896070	0,40	P11	767312	9888504	0,13	P12	767373	9888511	0,10
P10	765588	9896070	0,40	P11	767312	9888504	0,13	P12	767373	9888511	0,10
P10	765588	9896070	0,40	P11	767312	9888504	0,13	P12	767373	9888511	0,10
P10	765588	9896070	0,45	P11	767312	9888504	0,13	P12	767373	9888511	0,10
P10	765588	9896070	0,45	P11	767312	9888504	0,13	P12	767373	9888511	0,10
P10	765588	9896070	0,46	P11	767312	9888504	0,87	P12	767373	9888511	0,30
P10	765588	9896070	0,46	P11	767312	9888504	0,87	P12	767373	9888511	0,30
P10	765588	9896070	0,46	P11	767312	9888504	0,87	P12	767373	9888511	0,30
P10	765588	9896070	0,46	P11	767312	9888504	0,87	P12	767373	9888511	0,30
P10	765588	9896070	0,46	P11	767312	9888504	0,87	P12	767373	9888511	0,30
P13	756640	9893828									
P13	756640	9893828	0,05								
P13	756640	9893828	0,05								
P13	756640	9893828	0,05								
P13	756640	9893828	0,05								
P13	756640	9893828	0,05								
P13	756640	9893828	1,80								
P13	756640	9893828	1,80								
P13	756640	9893828	1,80								
P13	756640	9893828	1,80								
P13	756640	9893828	1,80								

Fuente: (Natura-UTC, 2010)

11.1.1.1 AED base de datos UTC.

Con las medidas de resumen se obtiene la información necesaria para entender el comportamiento de los datos.

Tabla 5: Medidas de resumen UTC

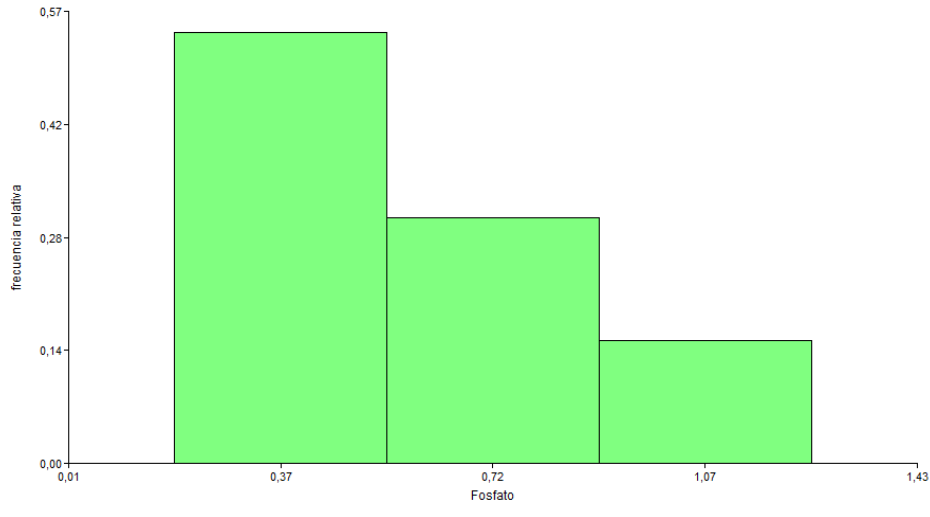
VARIABLE	n	MEDIA	D.E	E. E	CV	MÍN	MÁX	MEDIANA	Q1	Q3	ASIMETRÍA	KURTOSIS	DATOS FALTANTES
Fosfato	13	0,59	0,31	0,09	52,47	0,19	1,25	0,47	0,41	0,78	0,64	-0,35	0

Fuente: (Quispe, 2018)

En el análisis de los resultados de los 13 puntos, de la UTC se representan en la tabla 5, la media es mayor que la mediana presentando una distribución asimétrica positiva (cola a la derecha) (gráfico 4). La dispersión de los datos en torno a la media es baja (DE= 0,31) el error estándar es muy cercano a cero. Sin embargo, el coeficiente de variación es grande (>20%), en esta base de dato no se presentan valores atípicos (Gráfico 5). El rango de fosfatos analizados va desde 0,41 a 0,78 mg/l (Tabla 5). El cuartil 1 representa el 25% de los datos en

este caso tiene un valor de: 0,41 y el cuartil 3 es: 0,78 lo que representa el 75% de los datos. La asimetría es: 0,64 como el valor es positivo los datos son tan simétricos. El valor de la curtosis fue negativo por lo tanto su distribución es platicúrtica.

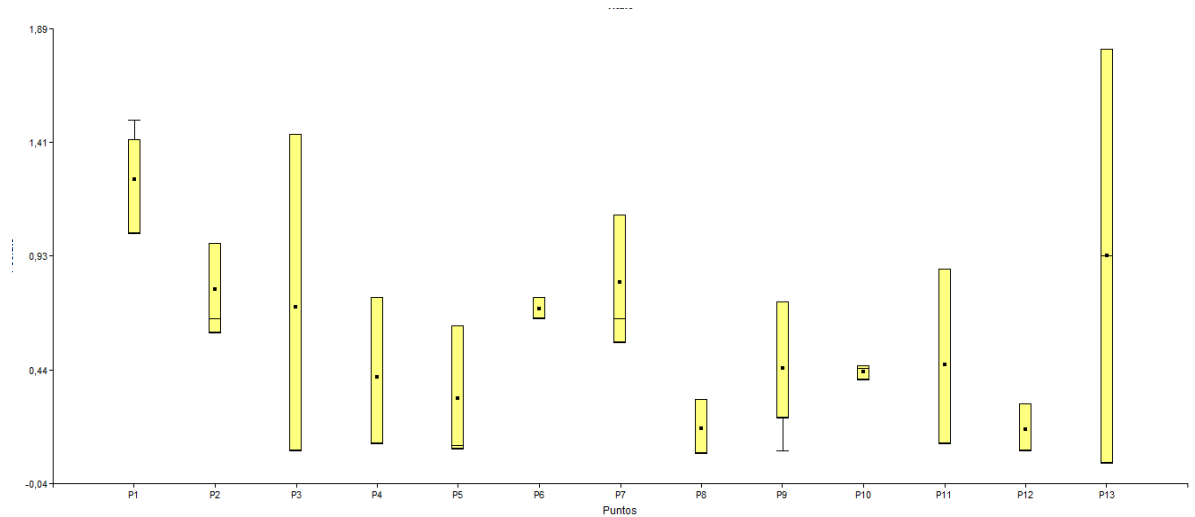
Gráfico 4: Histograma UTC



Fuente: Quispe, P (2018)

Con la gráfica se muestra las medidas de resumen registradas en la tabla anterior, los datos muestran una distribución con una cola a la derecha, es decir un sesgo positivo.

Gráfico 5. Box-plot Universidad Técnica de Cotopaxi



Fuente: Quispe, P (2018)

El análisis gráfico de box-plot para el caso de la Universidad Técnica de Cotopaxi, demuestra que en el punto 1 y 9 se sitúan los valores máximos y mínimos, también se visualiza que no presentan datos atípicos u outliers.

11.1.1.2 Base de datos SEK

La Universidad Internacional SEK, ejecutó el estudio de monitoreo de la microcuenca del Cutuchi en el año 2017 desde el mes de octubre hasta abril, en este se cuenta con 3 puntos de ejecución y para cada punto se tiene 7 muestras, en los meses correspondientes.

Con un total de 21 datos se realiza el mismo proceso que con la anterior base de datos.

Tabla 6. Base de datos de fosfatos de la SEK

PUNTOS	X	Y	FOSFATO
P1	755389	7852425	0,37
P1	755389	7852425	0,77
P1	755389	7852425	0,17
P1	755389	7852425	1,27
P1	755389	7852425	0,28
P1	755389	7852425	0,38
P1	755389	7852425	0,70
P2	766244	9917741	2,44
P2	766244	9917741	2,06
P2	766244	9917741	0,64
P2	766244	9917741	17,94
P2	766244	9917741	0,79
P2	766244	9917741	0,89
P2	766244	9917741	1,13
P3	765352	9895884	3,19
P3	765352	9895884	3,80
P3	765352	9895884	0,70
P3	765352	9895884	13,68
P3	765352	9895884	1,46
P3	765352	9895884	1,56
P3	765352	9895884	2,80

Fuente: (SEK, 2017)

11.1.1.3 AED base de datos SEK.

En la base de datos SEK, se obtiene lo siguiente:

Tabla 7: Medidas de resumen SEK

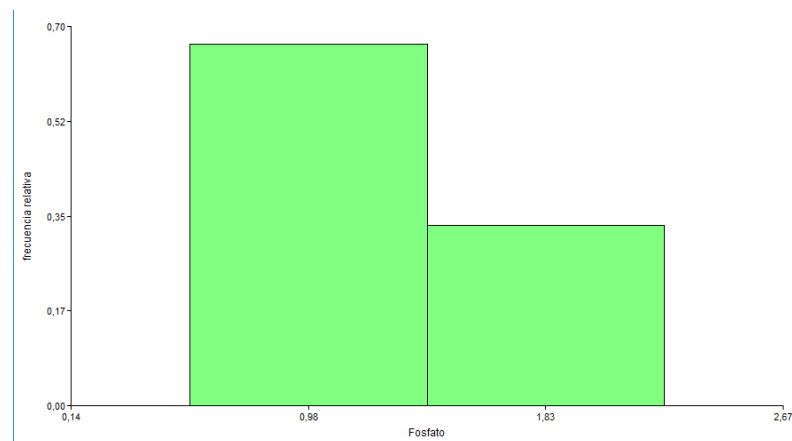
VARIABLE	n	MEDIA	D.E	E. E	CV	MÍN	MÁX	MEDIANA	Q1	Q3	ASIMETRÍA	KURTOSIS	DATOS FALTANTES
Fosfato	3	1,36	0,85	0,49	62,59	0,56	2,25	1,26	0,56	2,25	0,51	0,51	0

Fuente: Quispe, P (2018)

El análisis de medidas de resumen de los datos SEK para los tres puntos se presentan en la tabla 7, la mediana es menor que la media por lo tanto su distribución es asimétrica con cola a la derecha (Gráfico 6). La dispersión de los datos alrededor de la media es alta (DE = 0,85), el error estándar no es cercano a cero.

Sin embargo, el coeficiente de variación es grande ($>20\%$), pudiendo evidenciarse valores atípicos (Gráfico 7). El rango de fosfatos analizados va desde 0,56 a 2,25 mg/l (Tabla 7). El cuartil 1 representa el 25% de los datos en este caso tiene un valor de: 0,56 y el cuartil 3 es: 2,25 lo que representa el 75% de los datos. La asimetría es: 0,51 como el valor es positivo los datos son simétricos. El valor de la curtosis fue positivo por lo tanto su distribución es leptocúrtica.

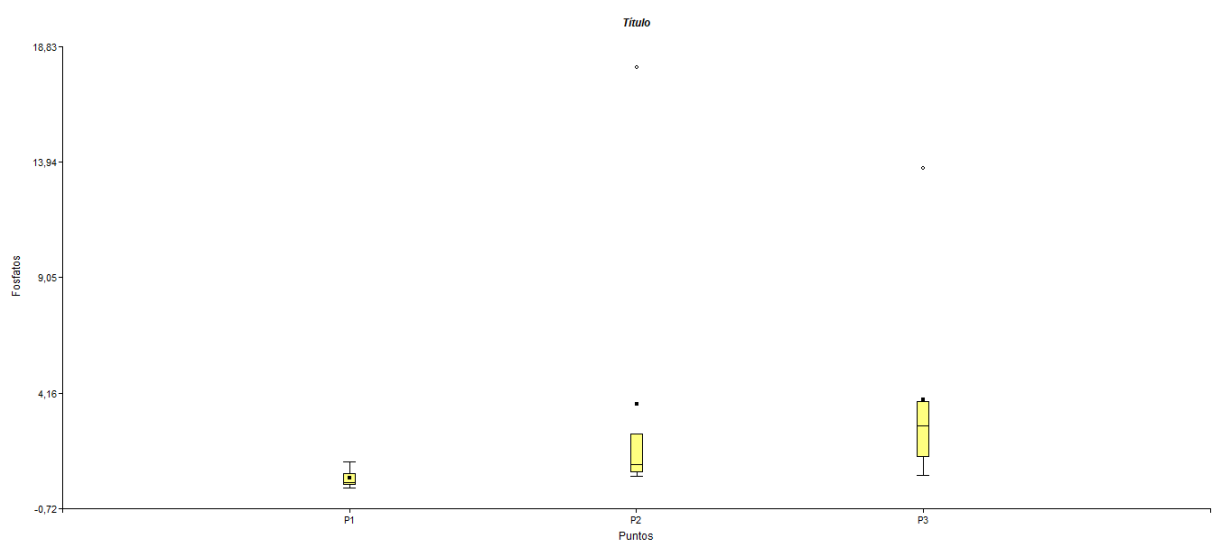
Gráfico 6: Histograma SEK



Fuente: Quispe, P (2018)

Con el histograma de la SEK (gráfico 6) se ratifica la distribución de los datos con una cola a la derecha, es decir un sesgo positivo.

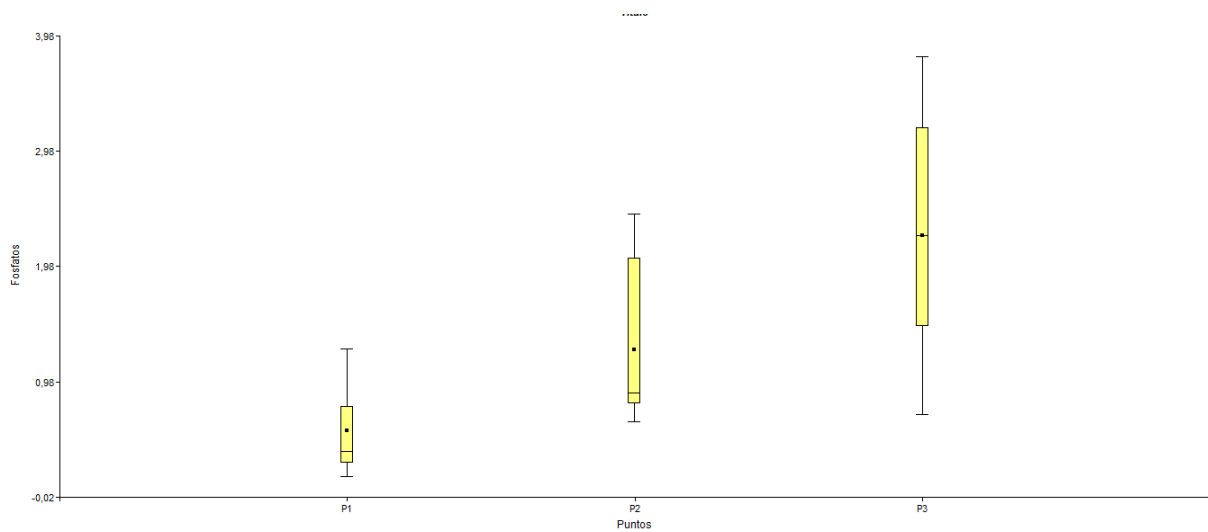
Gráfico 7. Box-plot de datos de la SEK, variable fosfato en tres puntos de muestreo



Fuente: Quispe, P (2018)

Con el gráfico 7 de box-plot de la SEK, se evidencia la presencia de datos outliers en el punto 2 y 3.

Gráfico 8: Box-plot de datos de la SEK sin considerar outliers, variable fosfatos en tres puntos de muestreo



Fuente: Quispe, P (2018)

La completación de los valores de fosfatos eliminados por ser un valor atípico fue mediante la media, finalmente en el gráfico no debería haber outliers de ser el caso procedemos a ajustarlos nuevamente. En el diagrama de caja se observa que la media aritmética prácticamente coincide con la mediana, y que los brazos del diagrama son bastante parecidos, cuestiones que ratifican la simetría de la distribución.

Al analizar la base de datos tanto de la UTC como de la SEK se pudo observar el patrón de distribución del fosfato, el cual tiene una saturación muy variable ya que fueron tomados en diferentes meses de los años de monitoreo, pero la variabilidad de este parámetro no se debe solo a los meses en los que fueron tomados los muestreos, sino que en cada punto existen industrias, plantaciones agrícolas, floricultura que han elevado el uso de plaguicidas, lavadoras y lubricadoras de vehículos y asentamientos humanos, los cuales vierten al río residuos químicos como fertilizantes, desechos sólidos y descargas de aguas servidas.

Todas estas actividades antrópicas en las riberas del río producen un cambio drástico en los niveles de concentración de los fosfatos y se evidencia en que los valores suben y bajan en los distintos puntos de muestreo, esto a causa de la poca capacidad de descomposición de materia orgánica de las aguas residuales, el aporte de compuestos químicos por fuentes puntuales y fuentes no puntuales y la presencia de agroquímicos fosforados.

11.2 Interpolación con Surfer

Los datos obtenidos junto con el programa Infostat, se interpola las dos bases de datos con los tipos de interpoladores que nos ofrece Surfer, con el fin de conocer cuál de ellos se ajusta mejor a este estudio.

Con los resultados de las interpolaciones, el siguiente paso es comprobar con el error medio cuadrático (EMC) el mejor interpolador tanto en la base de datos de la UTC como de la SEK.

Con el EMC se midió la cantidad de error que hay entre los valores predichos y los valores conocidos de la concentración de los fosfatos en la microcuenca del Cutuchi. Al tener un EMC de cero o cercano, se conoció el mejor interpolador para este estudio.

Los resultados obtenidos con las dos bases de datos se presentan a continuación:

Tabla 8: Comparación de métodos base de datos SEK-UTC

Método	EMC- UTC	EMC- SEK
Distancia inversa ponderada	0,74	0,62
Kriging	0,78	0,70
Mínima curvatura	1,10	0,70
Método de sherpap modificado	9,37	$1,70141 \times 10^{+12}$
Vecino natural	$9,437725 \times 10^{+21}$	$1,70141 \times 10^{+12}$
Vecino más cercano	0,80	0,78
Regresión polinómica	0,71	5,82
Función de base radial	0,76	1,26
Triangulación	$6,67348 \times 10^{+21}$	1,27
Media móvil	0,71	0,78
Métrica de datos	126,26	$2,023666 \times 10^{+14}$
Polinomio local	0,56	$2,023666 \times 10^{+14}$

Fuente: Quispe, P (2018)

11.3 Validación del método

Para la base de datos UTC los tres mejores métodos son:

Polinomio local con un EMC de 0,56 nos ofrece un mejor resultado de la distribución espacial de los fosfatos en la MRC, siendo el mejor ajuste a los valores muestreados de esta base de datos, este método encuentra un polinomio que pasa por todos los puntos de muestreo. Los siguientes mejores interpoladores son las **Medias móviles** que tiene 0,71 de EMC al igual que **Regresión polinómica**.

Estos resultados son distintos de otros estudios realizados: *Análisis Geoestadístico y predicción espacial para el índice de calidad del agua en el río Bogotá*, (Mesa, C., Montenegro, E., Gaona, P., , 2017); para el fosfato en relación a variación espacio temporal, pues es esos casos Kriging, Distancia Inversa Ponderada y Función de Base Radial son válidos para el caso de estudio.

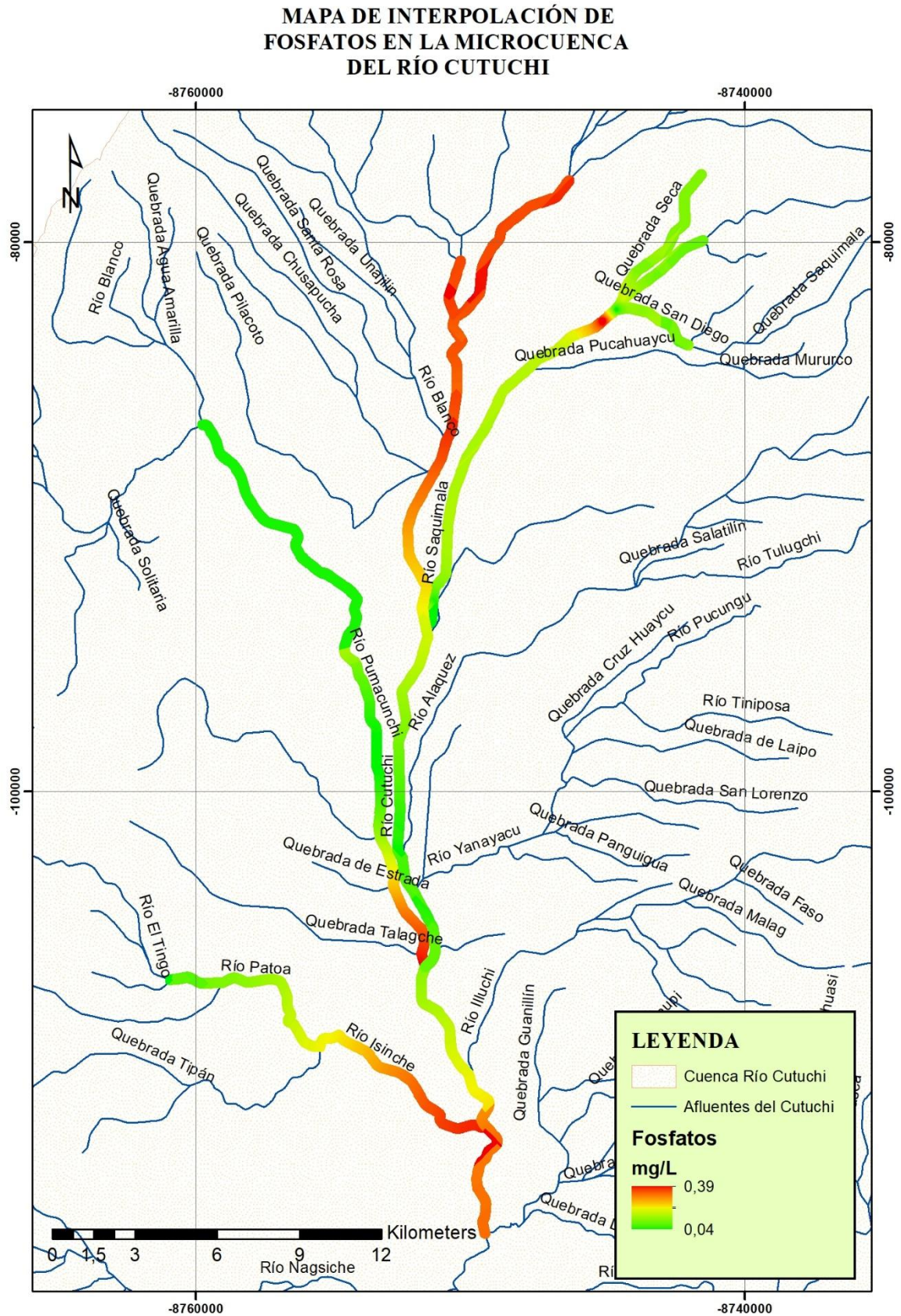
Con los datos de la Universidad SEK, los mejores métodos que se ajustan en esta interpolación son: como mejor método con el menor EMC de 0,62 *Distancia inversa* nos señala mejor precisión en la distribución espacial de los fosfatos, pues mediante este interpolador los valores se ponderan en relación con los puntos y este considera la distancia de toma de los puntos. Mientras que *Kriging* y *Curvatura mínima* con un EMC de 0,70 presentan una utilidad admisible para esta investigación. En estudios similares de variación de parámetros en cuencas hídricas el único método que coincide con la presente es Kriging. *Variación temporal y espacial de la Calidad de las aguas superficiales en la subcuenca del río Virilla Costa Rica* (Herrera, J., Rodríguez, S., Rojas, E.,, 2010)

11.4 Mapas de Interpolación

Complementariamente al análisis efectuado con el programa Surfer, se realizó una evaluación geoestadística de los resultados para poder comparar los mismos con valores de error calculados por el componente “Geoestadistical Analyst” del sistema de información geográfica ArcGis.

Los resultados de esta evaluación permitieron elaborar el mapa de la concentración de fosfatos de la zona de estudio. Además de los mapas se obtuvieron resúmenes estadísticos de los errores obtenidos luego del proceso de interpolación geográfica (Anexos 9-15). A continuación, se muestra el mapa elaborado con el programa ArcGis 10.2

Gráfico 9. Interpolación UTC



Fuente: Quispe, P (2018)

Como se observa en el mapa de la distribución espacial de los fosfatos en la microcuenca del Cutuchi existe gran variación en torno a los niveles de contaminación.

En la cuenca alta para el afluente del río Cutuchi 1 presenta gran concentración de fosfatos, pues en esa región se ubica una fábrica de papel y aglomerados Cotopaxi, que vierten sus aguas directamente al cuerpo de agua sin previo tratamiento. Mientras que para el afluente Saquimala se nota que la concentración es menor pues corresponden al sector San Ramón, el cual es páramo y sus aguas son utilizadas para riego.

La cuenca media que corresponde también al afluente Cutuchi 1 en el sitio de confluencia con el río Saquimala, su concentración de fosfatos aumenta en una cantidad poco considerable ya que el cauce común está formado por las corrientes provenientes de la cuenca superior.

En la parte inferior de la cuenca media en donde se ubican: florícolas, hay menos contaminación, pues la utilización de los fertilizantes en estas plantaciones primero se acumula en el suelo y el restante de los fosfatos llega por escorrentía al cuerpo de agua.

Para el río Tomacuntze donde existe una lubrilavadora y descarga de aguas servidas la concentración de fosfatos aumenta a razón de las actividades.

En la cuenca baja en donde se sitúa el río Isinche y Cutuchi 2 al estar rodeado de haciendas agrícolas, lubricadoras y efluentes de aguas servidas correspondientes a los cantones de Latacunga, Pujilí y parte de Salcedo el río está altamente contaminado a razón de las actividades que se realizan en el recorrido de su cauce.

12. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

12.1 Conclusiones

- El análisis exploratorio de datos permitió evaluar el comportamiento y dispersión de la concentración de fosfatos para las bases de datos de la UTC y SEK mediante el programa Infostat. En la base de datos SEK se encontró valores atípicos que fueron reemplazados por la media.
- Con el análisis comparativo de los interpoladores de Surfer, se determina que los mejores interpoladores para la base de datos UTC son: *Polinomio local* con un EMC de 0,56; *Medias móviles* y *Regresión polinómica* que tienen 0,71 de EMC. Para la Universidad Internacional SEK: *Distancia inversa* con un EMC de 0,62; mientras que *Kriging* y *Curvatura mínima* con un EMC de 0,70. Con estos resultados se conoce que para este tipo de estudios la interpolación es una herramienta importante para proyectos posteriores en donde se requiera conocer valores no tomados in situ del parámetro Fosfatos.
- Para el análisis de distribución espacial de fosfatos en la microcuenca del río Cutuchi se utilizó el mapa interpolado con Kriging ordinario, obteniendo alta concentración de contaminación en la cuenca alta en el afluente del río Cutuchi. Y en la cuenca media presenta baja cantidad de contaminación de fosfatos donde se ubican florícolas.
- El análisis de la distribución de fosfatos en la microcuenca del río Cutuchi permite predecir el comportamiento de este parámetro; para estudios posteriores, se puede ir al campo tomar cierto número de puntos de muestreo y a partir de esos interpolar para disminuir costo de tiempo y dinero.

12.2 Recomendaciones

- Se deben aplicar técnicas de estimación geoestadística e interpolación matemática especialmente en las ciencias ambientales, pues son de alta importancia porque la utilización de estas facilita el trabajo en torno a monitoreos y diagnósticos de la situación de un área de estudio.
- Para el análisis exploratorio de datos, cuando exista la presencia de datos outliers se aconseja que estos sean corregidos de manera que no afecten en la interpretación de los resultados para la interpolación correspondiente.

- El uso de software tanto para el análisis estadístico como para las gráficas correspondiente es una de las herramientas que ayudan y facilitan el trabajo en las investigaciones.

13. BIBLIOGRAFÍA

- A. Burrough, P. &. (1998). Principle of Geographic Information Systems.
- Abbasi, S. A. (2002). Water quality indices, state of the art, Centre for Pollution Control & Energy Technology.
- Alexandra, A. &. (2011). Evaluacion de la calidad del agua y propuestas de tratamiento y control de la contaminacion. Universidad de Cadiz.
- Alvarado.M.S, C. (2016). Determinacion del indice de calidad de agua ICA-NSF.
- Alvarez, J. (2002). *Temporal and spatial variability of temperature in two coastal lagoons*. CalCOFI.
- Ambiente, I. S. (Octubre de 2014). *Instituto Superior del Medio Ambiente*. Recuperado el 12 de diciembre de 2016, de Instituto Superior del Medio Ambiente:
<http://www.ismedioambiente.com/agenda/monitoreo-de-la-calidad-del-agua>
- Ambientum.com. (2008). Determinación de compuestos de fósforo. *Enciclopedia Medioambiental* .
- Andina, C. (2005). Manual de Estadísticas Ambientales. *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales* , págs. 31-45.
- Ansley, C., Kohn, R. (1986). *Prediction mean squared erro for state space modles with estimated parameters*.
- Batista-Legra. (2103). *Medidas Estatistica Descriptiva*.
- Behr, G. (2003). Gestión Ambiental en la Industria Quesera. En B. G, *Gestión Ambiental en la Industria Quesera* (pág. 29). Buenos Aires, Argentina.
- Belete. (2015). Estudio de la presicion del modelo estadístico, medidas estadísticas. Cuba, La Habana.
- Calderini, L. (2005). *LENNTECH*. Recuperado el 15 de Diciembre de 2017, de LENNTECH:
<https://www.lenntech.es/eliminacion-del-fosforo.htm>
- Chávez, L. &. (2013). *Sistema de Información para la Interpolación de Datos de Temperatura y Precipitación del Ecuador*. Revista Politécnica.
- Chen, Cowan, & Grant,. (1991). Orthogonal least squares learning algorithm for radially basis function networks. En S. C. Chen, *IEEE Transactionson neural networks* (págs. 302-309).
- Chiu, R. (s.f.). Método de Interpolación de Kriging.

- CODERECO. (2002). El Cutuchi y sus aguas. *Corporación de Desarrollo Regional de Cotopaxi*.
- Collins, F. &. (1996). *A comparison of spatial interpolation techniques in temperature estimation. Proceedings, Third International Conference/Workshop on Integrating GIS and Environmental Modeling, Santa Fe, NM*. Santa Barbara: National Center for Geographic Information and Analysis, Santa Barbara, CA.
- David, H. (Mayo de 2012). *Early sample measures of variability Statist Sci*.
- Daza, J. (2006). *Estadística aplicada con Microsoft Excel*. Lima, Perú: Megabyte.
- EMS, i. (14 de junio de 2008). *Interpolation_schemes*. Obtenido de http://www.ems-i.com/gmshelp/Interpolation/Interpolation_Schemes/Inverse_Distance_Weighted/Sherpads_Method.htm
- Fallas, J. (2007). *Modelos digitales de elevación: Teoría, métodos de interpolación y aplicaciones*. Costa Rica: San José.
- Fernández, N. R. (2003). Índices Físicoquímicos de Calidad del Agua. *Conferencia internacional sobre usos múltiples del agua: para la vida y el desarrollo sostenible*. Colombia.
- Fernández, N., Solano, F.,. (2005). *Índices de Calidad y de contaminación del Agua*. España . Fundación Natura. (s.f.). *Guía para el monitoreo de la calidad del agua de corrientes superficiales dirigido a municipios medianos y pequeños del Ecuador*. Latacunga.
- Gallardo, A. (2003). Spatial Variability of Soil Properties in a Floodplain Forest in Northwest Spain. *Ecosystems* 6, 564 – 576.
- García Barbancho, A. (1973). *Estadística elemental moderna*. Málaga: Ariel SA.
- García GM, R. M. (1993). "Productos Lácteos. *Biotecnología Alimentaria*, 153-223.
- García Pérez, A. (1992). *Estadística aplicada: Conceptos básicos*. Madrid.
- González, F. (1 de Enero de 2011). *Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible*. Recuperado el 13 de Diciembre de 2017, de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible: <http://fgonzalesh.blogspot.com/2011/01/contaminacion-por-fertilizantes-un.html>
- González, M. (2011). *Métodos de Interpolación*. Mexico, Distrito Federal .
- Harris, D. (2001). *Análisis Químico Cuantitativo*. Reverté.
- Hengl, T. (2007). *A Practical Guide to Geostatistical Mapping of Environmental Variables. JRC Scientific and Technical Reports*. Luxembourg: Office for Official Publication of the European Communities.
- Hernández, J., Ramírez, M.J., Ferri, C. (2004). *Introducción a la minería de datos*. Pearson.


- Herrera, J., Rodríguez, S., Rojas, E., (2010). Variación temporal y espacial de la calidad de las aguas superficiales en la subcuenca del río Virilla (Costa Rica). *Revista de CIENCIAS AMBIENTALES*, 60,61.
- Hora, D. L. (1 de Diciembre de 2017). Ecuador: 88% de las aguas residuales llega a los ríos. *La Hora*.
- INERHI. (2003). *Proyecto Cotopaxi, Estudio Hidrogeológico*. Latacunga.
- Lara, R. (2005). Páramo y Contaminación. *Grupo de trabajo de Páramos del Ecuador* , 21.
- Li & Heat. (2008). *A review of comparative studies of spatial interpolation methods in environmental sciences*. Australia.
- Li, J. & Heap, A.D. (2011). *A review of comparative studies of spatial interpolation methods in environmental sciences: Performance and impact factors*. *Ecological Informatics*.
- MAE. (Marzo de 2012). MAE Ejecuta Plan de Descontaminación del Río Cutuchi. *MAE Ejecuta Plan de Descontaminación del Río Cutuchi*.
- Mara. (2006). Definición de aguas residuales. *Crecimiento Inferior*, 94.
- Marín, R. (2003). *Fisicoquímica y Microbiología de los medios acuáticos. Tratamiento y control de la calidad de aguas*. Díaz de Santos, SA.
- Marks, R. (2008). Dissolved oxygen supersaturation and its impact on bubble formation in the southern Baltic Sea coastal waters. *Hydrology Research* , 39.3: 229-236.
- Martínez, C. (2006). *Estadística básica aplicada*. Ecoe Ediciones.
- Melo, C. (2012). *Análisis Geoestadístico Espacio Tiempo Basado en Distancias y Splines con Aplicaciones*. Barcelona.
- Mesa, C., Montenegro, E., Gaona, P., . (2017). Análisis Geoestadístico y Predicción Espacial para el índice de Calidad del Agua en el Río Bogotá. *LACCEI*, 5,6,7,8.
- Moral García, F. J. (2004). *Aplicación de la geoestadística en las ciencias ambientales* .
- Moreno, B. (2000). *Informes de Prevalidación y Validación de fósforo soluble*. Santafé de Bogotá: IDEAM.
- Navarro, F. L. (2008). *Tratamiento de Aguas*.
- NSF. (2006). National Sanitation Foundation. *Consumer Information* .
- OMS. (2014). Directrices sobre Calidad del Agua. *Water and Sanitation for Health Facility Improvement Tool*.
- Palladino, A. (2011). *Atención Primaria de Salud, Epidemiología e Informática II*.
- Palomares. (2016). *Matemáticas II. Grado en Ingeniería Química*.
- Peña, D. (2002). Análisis de datos multivariantes. *McGraw- Hill*.

- Pulido, M. d. (2005). *Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua*. NOVA.
- Pütz, P. (2008). Eliminación y determinación de fosfatos. *ANALÍTICA DE LABORATORIO Y SISTEMA DE CONTROL DE PROCESO*, 4.
- Ramírez, A. V. (2008). Cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales, formulación y aplicación, *Ciencia Tecnología y Futuro*. En A. V. Ramírez, *Cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales, formulación y aplicación, Ciencia Tecnología y Futuro* (págs. 132-153).
- Robertson, G. (1987). Geostatistics in ecology: interpolating with known variance. *Ecology* 68, 744-748.
- Robertson, G. (1987). Geostatistics in ecology: interpolating with known variance. . *Ecology*, 744-748.
- Rodier, J. (1990). *Análisis de las aguas: aguas naturales, aguas residuales, agua de mar*. Barcelona: Omega.
- Romero, R., Zúñiga, R., (2008). *Métodos estadísticos en ingeniería*. LIMUSA: Mexico.
- SACSA. (14 de Septiembre de 2015). *Servicios Agropecuarios de la Costa S.A.* Recuperado el 12 de Diciembre de 2017, de Servicios Agropecuarios de la Costa S.A: <http://www.gruposacsa.com.mx/importancia-de-los-nitratos-y-fosfatos-en-las-plantas/>
- Samboriní, N. (2009). *Estimación del índice de escasez empleando los indicadores de calidad y contaminación del agua en la cuenca alta del Río Cauca*. Colombia.
- Samborini, N. C.-E. (2007). *A review of physical-chemical parameters as water quality and contamination indicators*.
- SENAGUA. (2010). *Continua la construcción de la Red Nacional de Monitoreo de la Calidad del Agua*. Quito.
- Shennan, S. (1992). *Arqueología cuantitativa*. Barcelona: Editorial Crítica.
- Suárez, M. (2004). *Interaprendizaje Holístico de Matemática*. Ibarra, Ecuador: Gráficas Planeta.
- Tapia, V. B. (2013). *Propuesta de un Plan de Manejo de la microcuenca del Río Cutuchi*. Quito, Ecuador: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Telégrafo, E. (9 de 2015 de 2015). 40 mil m³ de aguas negras van al río Cutuchi. *El Telégrafo*
- Theil, H. (1992). *A rank-invariant method of linear and polynomial regression analysis*.

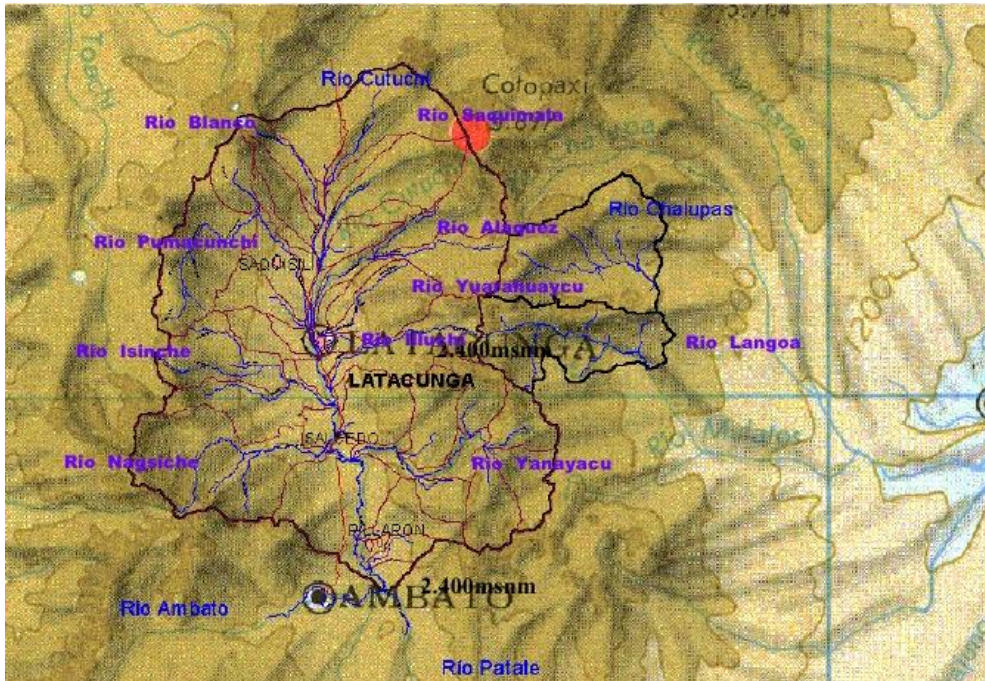
- Thompson & Weil. (1952). On the construction of tables for moving-average interpolation. En W. & Thompson, *Biometrics* (págs. 51-54).
- Tveito, O. I. (2005). A GIS-based agroecological decision system based on gridded climatology. *Meteorological Applications*.
- UNICEF. (2015). *Progress on Drinking, Sanitation and Hygiene* . Obtenido de Green Planet.
- USGS. (2006). *Handbooks for Water- Resources Investigations. COLLECTION OF WATER SAMPLES*.
- Vásquez, O. (2015). *Determinación de Fosfatos en el Agua*. Lima, Perú.
- Yang, C. K. (2004). Twelve different interpolation methods: A case study of Surfer 8.0. In *Proceedings of the XXth ISPRS Congress*,.
- Yang, Kao, Lee & Hung. (2004). Twelve different interpolation methods: A case study of surfer 8.0. En C. K. Yang.

14. ANEXOS

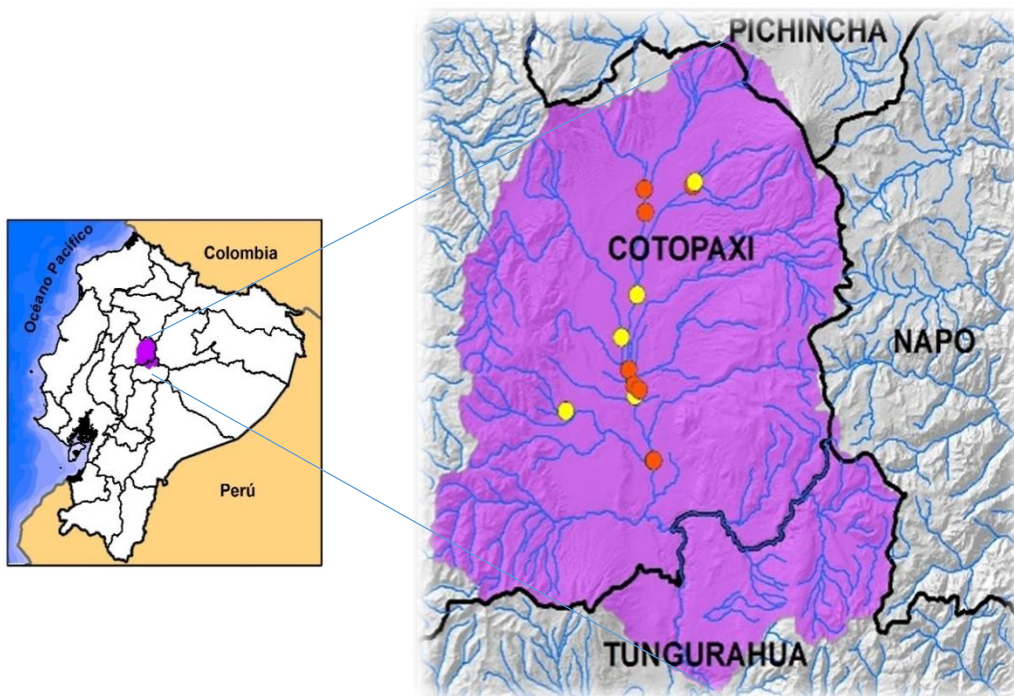
Anexo 1. Hoja de vida de la estudiante.

FICH SJIHT								
HOJA DE VIDA								
DATOS PERSONALES								
NACIONALIDAD	CÉDULA	PASAPORTE	AÑOS DE RESIDENCIA	NOMBRES	APELLIDOS	FECHA DE NACIMIENTO	LIBRETA MILITAR	ESTADO CIVIL
ECUATORIANA	0503780579			ANGELA PAULINA	QUISPE RODRÍGUEZ	19/05/1991		SOLTERO
TELÉFONOS			DIRECCIÓN DOMICILIARIA PERMANENTE					
TELÉFONO DOMICILIO	TELÉFONO CELULAR	CALLE PRINCIPAL	CALLE SECUNDARIA	N°	REFERENCIA	PROVINCIA	CANTÓN	PARROQUIA
02-2 76-043	0995146961	VICTORIA JARAMILLO			DIAGONAL AL TEMPLO	COTOPAXI	SALCEDO	MULALILLO
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL				AUTO IDENTIFICACIÓN ÉTNICA				
TELÉFONO DEL TRABAJO	EXTENSIÓN	CORREO ELECTRÓNICO INSTITUCIONAL	CORREO ELECTRÓNICO PERSONAL	AUTO IDENTIFICACIÓN ÉTNICA		ESPECIFIQUE NACIONALIDAD INDÍGENA		ESPECIFIQUE SI SELECCIONÓ OTRA
		angela.quispe9@utc.edu.ec	angel2_991@hotmail.com	MESTIZA				
FORMACIÓN ACADÉMICA								
NIVEL DE INSTRUCCIÓN	No. DE REGISTRO (SENESCYT)	INSTITUCIÓN EDUCATIVA	TÍTULO OBTENIDO	EGRESADO	ÁREA DE CONOCIMIENTO	PERIODOS APROBADOS	TIPO DE PERIODO	PAÍS
SEGUNDO NIVEL		UNIDAD EDUCATIVA VICTORIA VÁSQUEZ CUVI	BACHILLER		QUÍMICO BIÓLOGO	6	AÑOS	ECUADOR
TERCER NIVEL		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI	INGENIERO AMBIENTAL		AMBIENTE	10	SEMESTRES	ECUADOR
TRAYECTORIA LABORAL RELACIONADA AL PUESTO								

Anexo 2. Caracterización de la Microcuenca del Río Cutuchi



Anexo 3. Puntos de muestreo del río Cutuchi



Anexo 4. Coordenadas y latitud de los puntos de muestreo

Puntos	Coordenadas		Altitud (msnm)
	Este	Oeste	
1	766188	9917672	3001
2	766323	9915180	2960
3	763440	9901733	2828
4	765089	9895459	2760
5	772129	9918060	3120
6	772393,4	9918447,4	3120
7	765330	9906313	2864
8	764315	9898242	2800
9	764948	9896593	2760
10	765588	9896070	2760
11	767312	9888504	2680
12	767373	9888511	2680
13	756640	9893828	2938

Anexo 5. Base de datos de los monitoreos de fosforo total

PARAMETRO FOSFATO TOTAL												
Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6	Punto 7	Punto 8	Punto 9	Punto 10	Punto 11	Punto 12	Punto 13
1,50	0,66	0,10	0,13	0,14	0,66	0,56	0,09	0,23	0,40	0,13	0,10	
1,05	0,66	0,10	0,13	0,11	0,66	0,56	0,09	0,24	0,40	0,13	0,10	0,05
1,02	0,60	0,10	0,13	0,11	0,66	0,66	0,09	0,10	0,40	0,13	0,10	0,05
1,02	0,60	0,10	0,13	0,11	0,66	0,56	0,09	0,24	0,40	0,13	0,10	0,05
1,02	0,60	0,10	0,13	0,11	0,66	0,56	0,09	0,24	0,45	0,13	0,10	0,05
1,02	0,60	0,10	0,13	0,11	0,66	0,56	0,09	0,24	0,45	0,13	0,10	0,05
1,42	0,98	1,44	0,75	0,63	0,75	1,10	0,32	0,73	0,46	0,87	0,30	1,80
1,42	0,98	1,44	0,75		0,75	1,10	0,32	0,73	0,46	0,87	0,30	1,80
1,42	0,98	1,44	0,75	0,63	0,75	1,10	0,32	0,73	0,46	0,87	0,30	1,80
1,42	0,98	1,44	0,75	0,63	0,75	1,10	0,32	0,73	0,46	0,87	0,30	1,8
1,42	0,98	1,44	0,75	0,63	0,75	1,10	0,32	0,73	0,46	0,87	0,30	1,80

Anexo 6. Medidas de resumen base de datos UTC.

PUNTOS	VARIABLE	n	MEDIA	D.E	E. E	CV	MÍN	MÁX	MEDIANA	Q1	Q3	ASIMETRÍA	KURTOSIS	DATOS FALTANTES
P1	Fosfato	11	1,25	0,21	0,06	17,2	1,02	1,5	1,42	1,02	1,42	-0,17	-1,91	0
P10	Fosfato	11	0,44	0,03	0,01	6,66	0,4	0,46	0,45	0,4	0,46	-0,6	-1,67	0
P11	Fosfato	11	0,47	0,39	0,12	82,9	0,13	0,87	0,13	0,13	0,87	0,21	-1,97	0
P12	Fosfato	11	0,19	0,1	0,03	54,7	0,1	0,3	0,1	0,1	0,3	0,21	-1,97	0
P13	Fosfato	10	0,93	0,92	0,29	99,7	0,05	1,8	0,93	0,05	1,8	0	-2	1
P2	Fosfato	11	0,78	0,19	0,06	24,2	0,6	0,98	0,66	0,6	0,98	0,17	-1,93	0
P3	Fosfato	11	0,71	0,7	0,21	98,7	0,1	1,44	0,1	0,1	1,44	0,21	-1,97	0
P4	Fosfato	11	0,41	0,32	0,1	78,6	0,13	0,75	0,13	0,13	0,75	0,21	-1,97	0
P5	Fosfato	10	0,32	0,27	0,08	82,9	0,11	0,63	0,13	0,11	0,63	0,48	-1,83	1
P6	Fosfato	11	0,7	0,05	0,01	6,71	0,66	0,75	0,66	0,66	0,75	0,21	-1,97	0
P7	Fosfato	11	0,81	0,27	0,08	33,7	0,56	1,1	0,66	0,56	1,1	0,18	-1,94	0
P8	Fosfato	11	0,19	0,12	0,04	61,7	0,09	0,32	0,09	0,09	0,32	0,21	-1,97	0
P9	Fosfato	11	0,45	0,27	0,08	60,5	0,1	0,73	0,24	0,24	0,73	0,13	-1,87	0

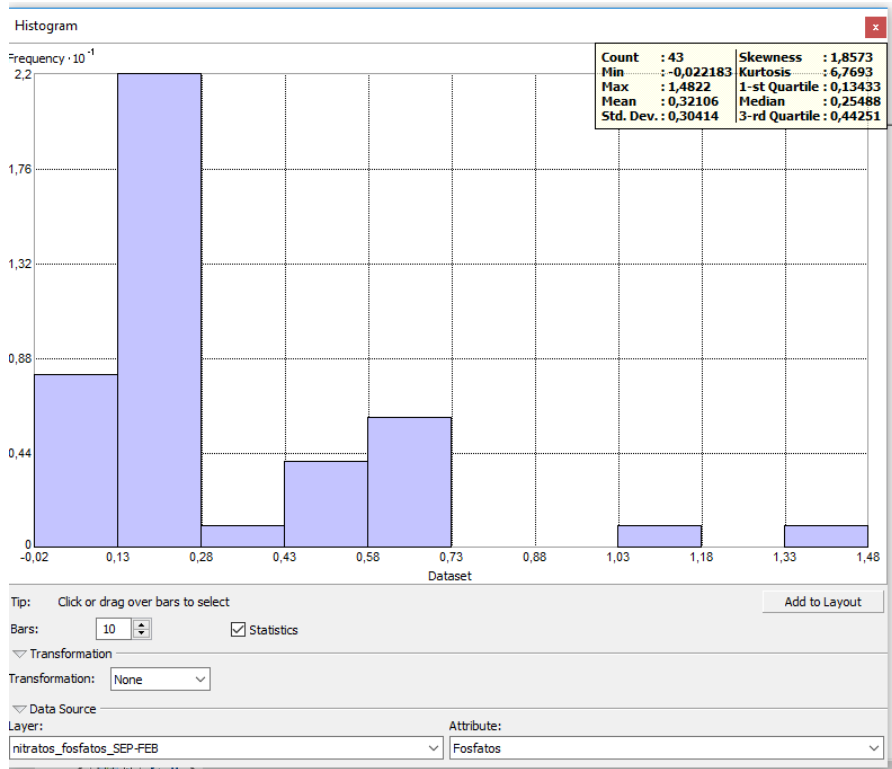
Anexo 7. Medidas de resumen de base de datos SEK; datos outliers

PUNTOS	VARIABLE	n	MEDIA	D.E	E. E	CV	MÍN	MÁX	MEDIANA	Q1	Q3	ASIMETRÍA	KURTOSIS	DATOS FALTANTES
P1	Fosfatos	7	0,56	0,38	0,14	68	0,17	1,27	0,38	0,28	0,77	1,13	-0,35	0
P2	Fosfatos	7	3,7	6,32	2,39	171	0,64	17,94	1,13	0,79	2,44	2,58	2,06	0
P3	Fosfatos	7	3,88	4,45	1,68	115	0,7	13,68	2,8	1,46	3,8	2,32	1,63	0

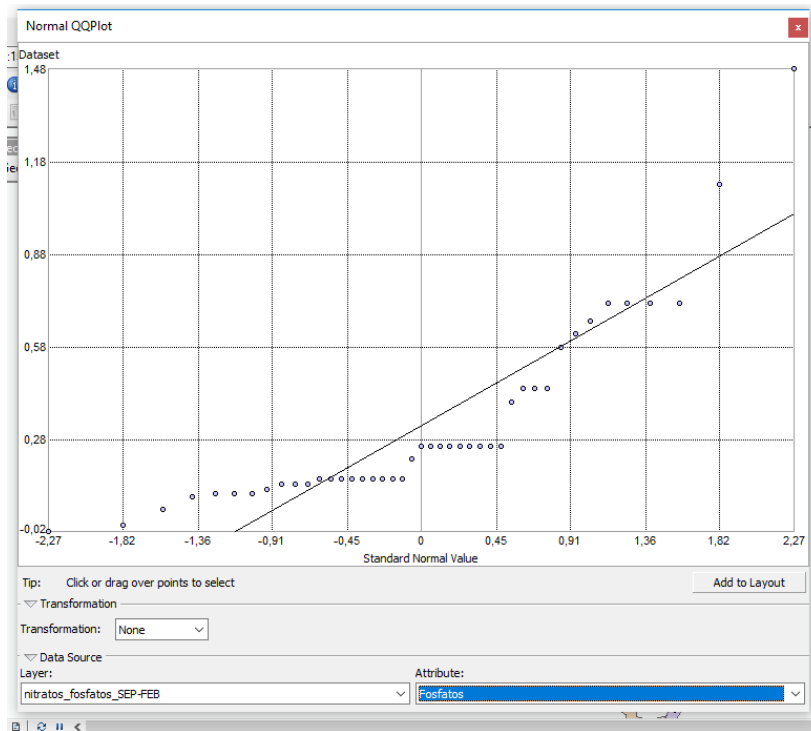
Anexo 8. Medidas de resumen base de datos SEK, sin outliers

PUNTOS	VARIABLE	n	MEDIA	D.E	E. E	CV	MÍN	MÁX	MEDIANA	Q1	Q3	ASIMETRÍA	KURTOSIS	DATOS FALTANTES
P1	Fosfatos	7	0,56	0,38	0,14	68	0,17	1,27	0,38	0,28	0,77	1,13	-0,35	0
P2	Fosfatos	7	1,26	0,7	0,27	55,7	0,64	2,44	0,89	0,79	2,06	1,16	-0,91	0
P3	Fosfatos	7	2,25	1,09	0,41	48,3	0,7	3,8	2,25	1,46	3,19	0,03	-1,18	0

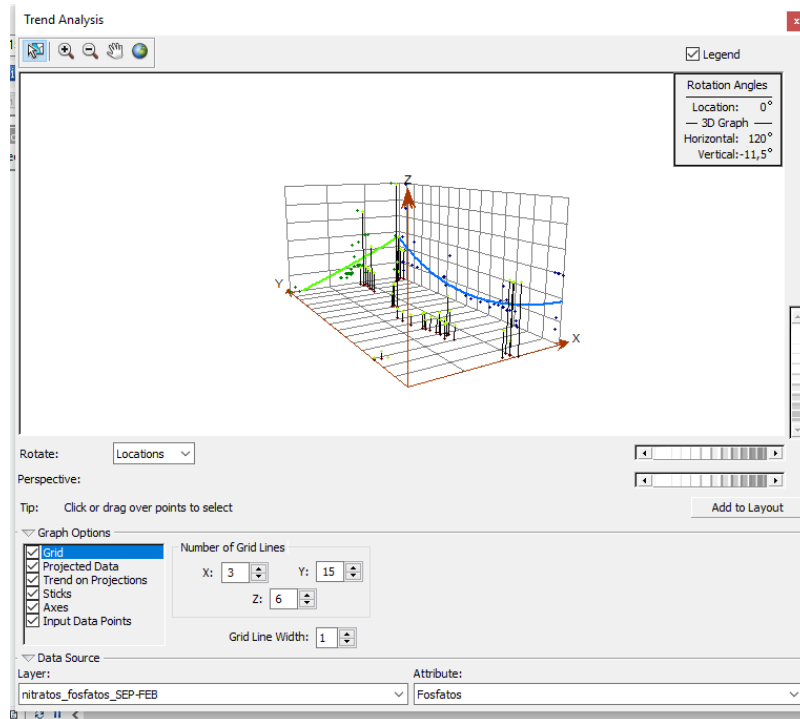
Anexo 9. Proceso para obtener el mapa de interpolación: Histograma.



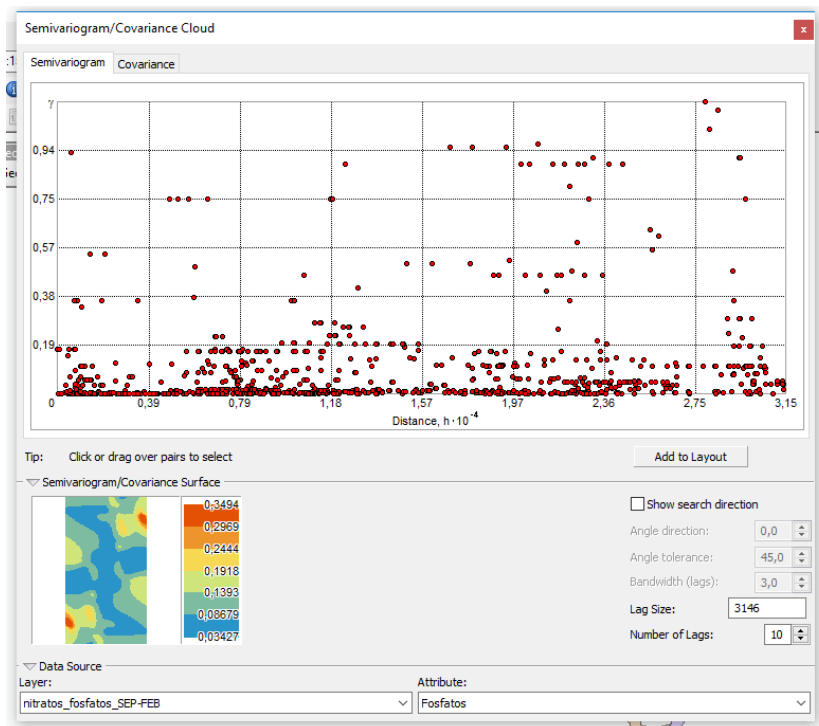
Anexo 10. Gráfico de QQ plot.



Anexo 11. Análisis de Tendencia



Anexo 12. Semivariograma



Anexo 13. Asistente Geoestadístico

Geostatistical wizard - Kriging step 5 of 5 - Cross Validation

Source ID	Included	Measured	Predicted	Error	Standard Error	Standardized Error
0	Yes	1.105	0.420...	-0...	0.25670108...	-2.6669411161
1	Yes	0.254875	0.549...	0...	0.25941026...	1.1411057678
2	Yes	0.254875	0.531...	0...	0.25635346...	1.0787099820
3	Yes	0.254875	0.536...	0...	0.25586027...	1.1015208407
4	Yes	0.62	0.444...	-0...	0.25749880...	-0.6830588474
5	Yes	0.254875	0.526...	0...	0.25761849...	1.0530831305
6	Yes	0.254875	0.501...	0...	0.26012908...	0.9489027454
7	Yes	0.1	0.181...	0...	0.25867673...	0.3164940719
8	Yes	0.100201	0.196...	0...	0.26115369...	0.3697427210
9	Yes	0.100201	0.145...	0...	0.25595820...	0.1789070962
10	Yes	0.13	0.224...	0...	0.25276127...	0.3738967530
11	Yes	0.147319	0.162...	0...	0.25033714...	0.0624880558
12	Yes	0.147319	0.205...	0...	0.25267853...	0.2318511614
13	Yes	0.147319	0.212...	0...	0.25555070...	0.2564782172
14	Yes	0.115	0.580...	0...	0.25483403...	1.8249433583
15	Yes	1.482189	0.395...	-1...	0.25510324...	-4.2607987765
16	Yes	0.442514	0.515...	0...	0.2830201374	0.152523061
17	Yes	0.66	0.544...	-0...	0.25631779...	-0.4512523061
18	Yes	0.442514	0.526...	0...	0.25928472...	0.3238845739
19	Yes	0.442514	0.530...	0...	0.25979043...	0.3398793172
20	Yes	0.576667	0.168...	-0...	0.26325334...	-1.5493126831
21	Yes	0.147319	0.273...	0...	0.26261836...	0.4816846586
22	Yes	0.254875	0.296...	0...	0.26133303...	0.1599764185
23	Yes	0.254875	0.252...	-0...	0.26308648...	-0.0078950117
24	Yes	0.09	0.126...	0...	0.25226404...	0.1457902685
25	Yes	0.147319	0.116...	-0...	0.25337604...	-0.1207465126
26	Yes	0.147319	0.119...	-0...	0.25422517...	-0.1091279271
27	Yes	0.147319	0.147...	0...	0.25167851...	0.0009359592
28	Yes	0.215	0.157...	-0...	0.25023185...	-0.2292839785
29	Yes	0.147319	0.151...	0...	0.25132575...	0.0186244038
30	Yes	0.147319	0.169...	0...	0.25077958...	0.0877652951
31	Yes	0.4	0.157...	-0...	0.25135587...	-0.9634900546

Prediction Errors Summary:

Statistic	Value
Samples	43 of 43
Mean	-0,01112293
Root-Mean-Square	0,2764136
Mean Standardized	-0,0446547
Root-Mean-Square Stan...	1,07811
Average Standard Error	0,257169

Regression function: $0,246306793211671 * \dots$



Universidad
Técnica de
Cotopaxi

CENTRO DE IDIOMAS

AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que: La traducción del resumen de tesis al Idioma Inglés presentado por la señorita Egresada de la Carrera de **INGENIERÍA DE MEDIO AMBIENTE** de la **FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES**, **Angela Paulina Quispe Rodríguez** cuyo título versa **“VARIACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE FOSFATOS EN LA MICROCUENCA DEL RÍO CUTUCHI UTILIZANDO TÉCNICAS DE ESTIMACIÓN GEOESTADÍSTICA”**, lo realizó bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo al peticionario hacer uso del presente certificado de la manera ética que estimaren conveniente.

Latacunga, agosto de 2018

Atentamente,


EDISON MARCELO PACHECO PRUNA
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS
C.I 0502617350



CENTRO
DE IDIOMAS