



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS
NATURALES

CARRERA DE INGENIERÍA EN MEDIO AMBIENTE

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

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

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

Autor: Evelin Micaela Espín Villalva

Tutor: MSc. Kalina Marcela Fonseca Largo

LATACUNGA – ECUADOR

AGOSTO - 2018

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo **ESPIN VILLALVA EVELIN MICAELA** declaro ser autor (a) del presente proyecto de investigación: **VARIACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DEL pH EN LA MICROCUENCA DEL RÍO CUTUCHI UTILIZANDO TÉCNICAS DE ESTIMACIÓN GEOESTADÍSTICA, CANTON LATACUNGA, PROVINCIA 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.

.....
EVELIN MICAELA ESPÍN VILLALVA
0503721565

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 **ESPÍN VILLALVA EVELIN MICAELA**, identificado con C.I. N°**0503721565** de estado civil **SOLTERA** y con domicilio en Salcedo, Parroquia San Miguel, Barrio Rumipamba de Navas, 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, 08 del 2018

Tutor. - M. Sc. Kalina Marcela Fonseca Largo

Tema: “VARIACIÓN ESPACIO - TEMPORAL DEL pH 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 2018.

Evelin Micaela Espín Villalva

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 título:

“VARIACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DEL pH EN LA MICROCUENCA DEL RÍO CUTUCHI UTILIZANDO TÉCNICAS DE ESTIMACIÓN GEOESTADÍSTICA”, de Evelin Micaela Espín Villalva 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 EVELIN MICAELA ESPÍN VILLALVA con el título de Proyecto de Investigación: Variación Espacio-Temporal del pH 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

Le agradezco a Dios por haberme acompañado a lo largo de mi carrera. A mi familia en especial por ser mi apoyo incondicional, por ser mi pilar fundamental y tenerme paciencia a lo largo de mis estudios.

Agradezco la dedicación, esfuerzo y paciencia a mi tutora Ing. M. Sc Kalina Fonseca por haber impartido sus conocimientos que me ayudaron a formarme como una gran profesional, especialmente a mis amigas Paola, Paulina, Gabriela y Yoselin por ese apoyo incondicional, en mi trayectoria universitaria, a la Decana de la facultad Ing. M. Sc Giovanna Parra por haberme proporcionado los datos del estudio de calidad del agua, a la Universidad SEK igualmente por proporcionarnos los datos de su estudio para poder desarrollar este trabajo investigativo.

Evelin Micaela Espin Villalva

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a mis padres, a mi hermano, a mí tíos por ser el pilar fundamental en mi vida, quienes estuvieron siempre a mi lado brindándome su apoyo incondicional a cada instante para llegar a culminar mi profesión.

A todos aquellos a quienes contribuyeron en mi formación académica y profesional, en especial a mis amigas Paola, Paulina, Gabriela y Yoselin con quienes he compartido experiencias inolvidables en mi vida universitaria.

UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES
TITULO: VARIACIÓN ESPACIO- TEMPORAL DEL pH EN LA MICROCUENCA
DEL RÍO CUTUCHI UTILIZANDO TÉCNICAS DE ESTIMACIÓN
GEOESTADÍSTICA

AUTOR : ESPÍN VILLALVA EVELIN MICAELA

RESUMEN

El presente estudio evaluó la variación espacio- temporal de las concentraciones del pH 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 2677 km² y una longitud aproximada de 60 km. La contaminación de los ríos al mencionar al indicador pH es provocada por las grandes concentraciones de metales como el manganeso y hierro, metales potencialmente corrosivos de los caños en las casas antiguas, lo cual posteriormente desencadenan en el Río. 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, que posteriormente se procesaron con el paquete interpolador Surfer y finalmente se realizaron los mapas de distribución espacial del pH en la MRC. Como resultado, se obtuvo en el análisis exploratorio de datos (AED) que los datos presentan poco outliers y completados con el criterio de la media se interpolaron para obtener los tres mejores interpoladores: regresión polinómica, medias móviles y Kriging 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 pH en la Microcuenca del Río Cutuchi (MRC), que no fueron monitoreados y predecir su comportamiento de distribución y 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, pH, Regresión Polinómica.

ABSTRACT

The present research evaluated the variation space-temporary of the pH concentrations in Cutuchi River Microbasin (CRM), which is part of the Pastaza River, the CRM is born in the moors of Cotopaxi volcano thaws, it has an area of 2677 km² and 60 km length. The contamination of the rivers when mentioning the pH indicator is caused by the high concentrations of metals such as manganese and iron, potentially corrosive metals of the pipes in the old houses, which later they trigger in the River. For the investigation , two databases were used, one by Technical University of Cotopaxi (UTC) and other by International University (SEK), which were monitored since September 2010 to July 2011 by UTC, and by SEK since October to April 2017. Initially, an exploratory data analysis (EAD) it was carried out to evaluate the distribution and behavior of data, which were subsequently begun with the Surfer interpolator package and finally to realize the spatial distribution maps of the pH in the CRM. As a result, it was obtained in the exploratory analysis data (EAD) that the it presented little outliers and completed with the criterion of the mean were interpolated to obtain the three best interpolators: Polynomial regression, moving averages and Kriging for the two databases which were evaluated with the mean square error (CRM). It was concluded that the best interpolators obtained pH data in the Cutuchi River Microbasin (MRC), which were not monitored and predict their distribution behavior, thus decreasing costs of time and money required for the collection of information from countryside.

Key words: Cutuchi River Microbasin (CRM), interpolation, pH, Polynomial Regression.

ÍNDICE

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	i
CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR.....	ii
AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	v
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN.....	vi
AGRADECIMIENTO	vii
DEDICATORIA.....	viii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT	x
INDICE DE TABLAS	xiv
INDICE DE GRÁFICOS	xiv
INDICE DE MAPAS	xiv
1. INFORMACIÓN GENERAL.....	1
2. INTRODUCCIÓN	2
3. JUSTIFICACIÓN.....	2
4. BENEFICIARIOS	4
5. PROBLEMÁTICA	4
6. OBJETIVOS.....	6
6.1. GENERAL	7
6.2. ESPECÍFICOS.....	7
7. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN CON LOS OBJETIVOS PLANTEADOS.....	7
8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA	8
8.1. CARACTERIZACIÓN Y CONTAMINACIÓN DEL RÍO CUTUCHI	8

8.2. PARAMETROS DE CALIDAD DE AGUA	10
8.2.1. Parámetros Físicos.....	10
8.2.2. Parámetros Químicos.-	11
8.2.3. Parámetros Biológicos.-	16
8.2.4. Parámetros bacteriológicos.....	16
8.3. PARÁMETRO pH	17
8.3.1.Fuentes de alteración de parámetro pH	17
8.3.2.Cómo afecta el pH al agua.....	18
8.3.3. Medición del pH	18
8.4. Análisis exploratorio de datos (AED)	19
8.4.1. MEDIDAS DE RESUMEN	19
8.4.2. Media.....	19
8.4.3. Desviación Estándar	19
8.4.4.Error Estándar.....	20
8.4.5.Coeficiente de Variación.....	20
8.4.6. Mediana.....	20
8.4.7. Cuartil	20
8.4.8. Asimetría.....	20
8.4.9. Curtosis	20
8.5. GRÁFICAS ESTADÍSTICAS	20
8.5.1. Gráfico de cajas box-plot.....	20
8.6. Interpolación	21
8.6.1. Métodos de Interpolación Matemática	22
8.6.2. Distancia Inversa a una Potencia – Inverse Distance to a Power	22
8.6.3.Curvatura mínima - Minimun curvature	22
8.6.4. Método de Shepard modificado - Modified Shepar'd method.....	22
8.6.5.Vecino natural – Natural Neighbor.....	22
8.6.6. El vecino más cercano - Nearest Neighbor.....	22
8.6.7.Regresión polinómica – Polynomial regression.....	23
8.6.8.Base Radial – Radial basis.....	23
8.6.9 Triangulación con interpolación lineal – Triangulation with Linear Interpolation ...	23
8.7.Medias móviles – Moving Average.....	24
8.7.1.Métrica de datos – Data Metrics.....	24
8.7.2.Polinomio local – Local Polynomial	24

9. MÉTODOS GEOESTADÍSTICOS	24
9.1. Geoestadística	25
9.1.1. Análisis exploratorio de los datos.....	25
9.1.2. Análisis estructural.	25
9.1.3. Predicciones.....	25
9.1.4. Kriging.....	25
10. HIPÓTESIS.....	26
10.1. Hipótesis Alternativa.....	26
10.2. Hipótesis Nula.....	26
11. METODOLOGÍA (TÉCNICAS, MÉTODOS, INSTRUMENTOS)	26
11.1. ÁREA DE ESTUDIO	26
11.2. ANÁLISIS EXPLORATORIO DE DATOS	28
11.3. PROCESAMIENTO CON SURFER.....	29
11.4. VALIDACIÓN DEL MÉTODO	29
11. 5. MAPAS DE INTERPOLACIÓN	30
12. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	30
12.1. Análisis Exploratorio de Datos	30
12.1.1. Base de Datos UTC.....	31
12.1.2. AED base de datos UTC.	33
12.1.3. Base de datos de la SEK	35
12.1.4. AED de la base de datos de la SEK.....	36
12.2. PROCESAMIENTO CON SURFER.....	38
12.3. VALIDACIÓN DEL MÉTODO	39
9.2.2Discusión de resultados.....	39
12.4. MAPA DE INTERPOLACIÓN	40
12.4.1 Interpretación del mapa.....	41
13. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	41
13.1. CONCLUSIONES	41
13.3. RECOMENDACIONES	42
14. BIBLIOGRAFÍA.....	42
15. ANEXOS.....	44

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Cuadro de beneficiarios.....	4
Tabla 2: Actividades en relación con los objetivos planteados	7
Tabla 3: Base de datos del pH de la UTC	31
Tabla 4: Medidas de resumen UTC.....	32
Tabla 5: Base de datos del pH de la SEK.....	35
Tabla 6: Medidas de resumen SEK	36
Tabla 7: Error Medio Cuadrático (EMC) de la base de datos de la UTC y de la SEK .	38

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Histograma UTC	33
Gráfico 2: Box-Plot Universidad Técnica de Cotopaxi con outliers.....	34
Gráfico 3: Box-Plot Universidad Técnica de Cotopaxi sin outliers.....	34
Gráfico 4: Histograma SEK.....	36
Gráfico 5: Box-Plot SEK con outliers	37
Gráfico 6: Box-Plot sin outliers.....	37

INDICE DE MAPAS

Mapa 1: Ubicación geográfica de la Micro Cuenca del río Cutuchi	27
Mapa 2: 13 Puntos muestreados por la UTC	27
Mapa 3: Puntos de muestreo con 7 muestras cada punto tomados por la Universidad SEK.....	28
Mapa 4: Interpolación del pH.....	41

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1: .Tabla de resumen.....	44
Anexo 2: grafico histograma- box plot.....	45
Anexo 3: Cuadros con el interpolador kriging-pH en Arcgis.....	46
Anexo 4 Cuadros con el interpolador kriging-pHen Arcgis	46

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título del Proyecto:

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

Fecha de inicio:

Octubre 2017

Fecha de finalización:

Febrero 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:

Tutor de titulación: Ing.MSc. Kalina Fonseca

- ✓ Lector 1: Ing. MSc. Mercy Ilbay
- ✓ Lector 2: Ing. MSc. Juan Espinosa
- ✓ Lector 3: Dr. Carlos Mantilla

Área de Conocimiento:

Ambiente, Manejo Integrado 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 del estado actual de la zona de estudio, se realiza mediante mediciones en campo que generalmente están limitadas por los recursos económicos, temporales o por la naturaleza misma del fenómeno. La interpolación matemática y la geoestadística es 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 (Isaaks, 1989)

La interpolación 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). Hay 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), incluida la distancia inversa cuadrada (IDS) (Chávez, 2013). En esta investigación se realizó con el objetivo de identificar el mejor método de estimación del pH en la microcuenca del río Cutuchi (MRC) mediante el software Surfer 8.

3. JUSTIFICACIÓN

El presente proyecto pretende conocer, cómo se distribuye espacialmente el pH y su influencia en la calidad del agua del río Cutuchi, el pH es un indicador que compara algunos de los iones más solubles en agua, la acidez y la basicidad. Esta es una de las propiedades más importantes del agua para evaluar la calidad (Ramalho, 1990).

La MRC es una de las más importantes dentro de la provincia de Cotopaxi y únicas fuentes de suministro de agua para los cantones cercanos y de gran importancia para el sector agroecológico del país, es necesario monitorear y evaluar su calidad constantemente 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 (A. Burrough, 1998).

En lo que respecta a la ganadería, sus aguas son utilizadas para dar de beber al ganado vacuno, su producción es de leche y carne, existen haciendas que utilizan estas aguas al igual que los campesinos, por lo que la calidad del producto ha disminuido en gran cantidad, buscando nuevas fuentes de agua y disputándose ojos de aguas que se ubican a la cercanía del río y que se mantienen sin contaminación; lo que ha provocado enfrentamientos comunitarios contra hacendados por la disputa del líquido vital (Weber, 2003)

Uno de los grandes retos que enfrenta la gestión integral de los recursos hídricos es la contaminación de los cuerpos de agua, superficial y subterráneos; en el país no se cuenta con un estudio integral de las fuentes de contaminación, así como con una red de monitoreo nacional para controlar y vigilar la calidad de agua, todo lo cual limita la posibilidad de adoptar medidas eficaces de prevención y control de la contaminación. (Alexandra, 2011)

Los monitoreos constantes son extremadamente trabajosos y costosos a la vez, es por eso que es importante plantear estrategias de manejo adecuadas que implica analizar los índices de calidad del agua con diferentes parámetros. Estos monitoreos se los realiza por dos motivos de valiosa importancia: Primeramente, la calidad del agua se puede establecer en función de parámetros físicos, químicos, bacteriológicos y biológicos, los mismos que en forma conjunta brindan un criterio respecto a la condición en la que se encuentra el recurso (Ramalho, 1990)

Debe darse prioridad a la solución de la contaminación del agua del río Cutuchi, especialmente a la que ocasiona la ciudad de Latacunga. Para la MRC es prioritaria la implementación de políticas de largo plazo orientadas a la reducción de los altos niveles

de contaminación del agua por medio de acciones y técnicas que contemplen un adecuado manejo de los recursos hídricos (MAE).

En las aguas naturales y residuales el valor del pH está en el rango de 6.0 a 8.0 unidades de pH, y estos valores son los más adecuados para la actividad biológica de los ecosistemas. (Vega de Kuyper, J. C., 2007)

El agua suave, o con bajo pH, tiende a llevar grandes concentraciones de metales como el manganeso y hierro. Estos metales pueden ser potenciales corrosivos

La microcuenca ha sido poco estudiada en los últimos años, como consecuencia hay pocos registros de sus características físico-químicas por ello se planteó en este trabajo evaluar la variabilidad espacial-temporal de los contaminantes presentes en el agua del río Cutuchi.

Es por ello que se ha optado por trabajar con una técnica de interpolación matemática y geoestadística, la misma que facilitó la obtención de datos puntuales donde existe contaminación de varios indicadores de la calidad del agua, siendo un método alternativo que ayudaría a optimizar los monitoreos constantes de campo y así mismo costosos.

4. BENEFICIARIOS

Tabla 1: Cuadro de beneficiarios

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

Fuente: Espín, E (2018)

5. PROBLEMÁTICA

La contaminación hídrica se entiende como la acción de introducir algún material en el agua alterando su calidad y su composición química. La Organización Mundial de la Salud (OMS) manifiesta que, el agua está contaminada cuando su composición se haya modificado de modo que no reúna las condiciones necesarias para el uso, al que se le hubiera destinado en su estado natural (OMS, 2017).

En todo el mundo, al menos 2000 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, 2017).

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 (Hora, 2017).

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 (SENAGUA) (Hora, 2017). Cinco ríos ecuatorianos están severamente contaminados, según un estudio de la Organización Oxfam Internacional, los ríos: "Machángara, Guayllabamba, Esmeraldas, Guayas y Cutuchi", están contaminados, y algunos de ellos tienen tramos declarados biológicamente muertos (Hora, 2017). 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 (Hora, 2017). Por lo tanto, es primordial realizar un análisis de la calidad del agua que se está usando para riego.

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 regadas con las aguas contaminadas en Cotopaxi y Tungurahua.

A pesar de ser el río representativo de Cotopaxi, los planes para su recuperación no se aplican y algunos están solo en análisis en diferentes instituciones vinculados con la problemática. Los efectos no se pueden ver por ahora con facilidad, pero se prevé que, en los próximos 30 años, la contaminación sea más grave. Eso generaría un impacto social y económico bastante fuerte.

El pH puede afectarse por componentes químicos en el agua, el pH es un indicador importante de que el agua está cambiando químicamente

Para conocer los Índices de Calidad de agua y la concentración del pH en la MRC 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.

Debido a esta problemática se ha visto en la necesidad de recurrir a nuevos métodos de muestreo para poder controlar distintos puntos, así tenemos a la geoestadística que 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.

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. 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 (Moral García F. J., 2004).

6. OBJETIVOS

6.1. GENERAL

- ✓ Analizar la variación de distribución espacial de pH a partir de muestras realizadas 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 los mapas de distribución espacial de pH en el río Cutuchi.

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

Tabla 2: Actividades en relación con los objetivos planteados

OBJETIVOS	ACTIVIDAD	RESULTADOS	DESCRIPCIÓN
Examinar los datos obtenidos previamente a la aplicación técnica de interpolación matemática y geoestadística.	Realizar el Análisis exploratorio de datos para observar el comportamiento de las dos bases de datos de la UTC y de la SEK.	Se observó que los datos tenían una variabilidad alta en su distribución, sus valores eran asimétricos.	Se optó que a la base de datos de la UTC si mantuviera en su totalidad las dos épocas logrando que los datos presenten menos variabilidad y aporten mejor en el análisis de interpolación.
Realizar el análisis comparativo de los métodos de interpolación mediante indicadores de desempeño.	Ingresar los datos previos analizados en el software Surfer para obtener el mejor interpolador con menor error.	Se obtuvo los tres mejores interpoladores para las dos bases de datos que fueron: Regresión polinómica, data móviles y Kriging.	El resultado de las interpolaciones con Surfer fue valorado con 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.

Elaborar el mapa de distribución espacial del pH en la MRC. Efectuar interpolación en el software ArcGIS con Kriging que resulta ser el mejor interpolador para las dos bases de datos. la Se obtuvo los mapas de la distribución espacial de la concentración del pH en la MRC. Se interpretó los mapas de acuerdo a los sitios muestreados para identificar que foco contaminante existe en cada punto.

Fuente: Espín, E (2018)

8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA

8.1. CARACTERIZACIÓN Y CONTAMINACIÓN DEL RÍO CUTUCHI

El Río Cutuchi, está ubicado en la provincia de Cotopaxi, cantón Latacunga, sus aguas provienen de los páramos del Cotopaxi, su recorrido es de norte a sur, atraviesa poblaciones, industrias y centro poblado del cantón Latacunga, todos estos centros desfogon en el río sus aguas servidas sin un tratamiento previo, continua su recorrido atravesando los cantones de Salcedo, Ambato hasta su conexión con el río Ambato; lo que quiere decir que sus aguas irrigan dos provincias (Tapia, 2013).

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. (Tapia, 2013)

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 (MAE, 2017).

La situación contaminante que sufre el Río Cutuchi, podemos afirmar, se produce un daño ambiental visible y virulento, con responsabilidad directa de las autoridades municipales, de la prefectura, gobernación, del área de salud y otras que tienen obligaciones ambientales y que hasta el momento no han realizado ninguna acción. (OMS, 2017)

Según el estudio, 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. (OMS, 2017)

La contaminación humana -añade la investigación- 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. (MAE, 2017)

La calidad del río Cutuchi se deteriora, significativamente, a partir de Latacunga, hasta la confluencia del río Yanayacu. Los 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, 2017).

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. Este último es altamente contaminante. (SENAGUA, 2017).

8.2. PARAMETROS DE 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

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.

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.

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.

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:

8.2.2. Parámetros Químicos.-

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.

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.

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.

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.

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.

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.

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.

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.

Sólidos Totales

Es la suma de los dos anteriores disueltos y en suspensión.

Cloruros

El ión cloruro Cl^- , forma sales muy solubles, suele asociarse con el ión 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.

Sulfatos

El ión 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.

Nitratos

El ión 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.

Fosfatos

El ión 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.

Fluoruros

El ión 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.

Sílice

La sílice, SiO_2 se encuentra en el agua disuelta como ácido silícico SiO_4H_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.

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 ión bicarbonato, y si el pH es inferior a 8,3 no habrá ión carbonato. El agua de mar contiene alrededor de 100 ppm de ión bicarbonato.

Sodio

El ión 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 ión 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.

Potasio

El ión 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.

Calcio

El ión 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.

Magnesio

El ión magnesio, Mg^{2+} , tiene propiedades muy similares a las del ión 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.

Hierro

Es un catión muy importante desde el punto de vista de contaminación, aparece en dos formas: ión ferroso, Fe^{++} , o más oxidado como ión 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.

Manganeso

El ión 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.

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.

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.

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)

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 (DBO_5), también suele emplearse, pero menos el (DBO_{21}) de 21 días. Se mide en ppm de O^2 que se consume.

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 O^2 .

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

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 CO^2 ; últimamente se está popularizando por la rapidez en la realización del análisis.

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. PARÁMETRO PH

El pH sirve como un indicador que compara algunos de los iones más solubles en agua, la acidez es una de las propiedades más importantes del agua.

La medida del pH es una de las pruebas más importantes y frecuentes utilizadas en el análisis químico del agua. Prácticamente todas las fases del tratamiento del agua para suministro y residual, como la neutralización ácido-base, suavizado, precipitación, coagulación, desinfección y control de la corrosión dependen del pH. (Vega de Kuyper, J. C., 2007)

En aguas naturales y residuales el valor del pH define si las condiciones de esta son ácidas o básicas. Un pH menor de 7.0 indica acidez en el agua, cuanto menor sea el valor del pH mayor es la concentración de iones hidrogeno y mayor es la acidez. Por encima de un pH de 7.0 se tienen condiciones básicas en el agua. La concentración de iones hidrogeno es baja y se dice que el agua es alcalina. Cuando el pH es de 7.0 se dice que el pH es neutro y el agua no tiene características ácidas ni alcalinas. En las aguas naturales y residuales el valor del pH está en el rango de 6.0 a 8.0 unidades de pH, y estos valores son los más adecuados para la actividad biológica de los ecosistemas. (Vega de Kuyper, J. C., 2007)

8.3.1. Fuentes de alteración de parámetro pH

Las fuentes persistentes es el agua de lluvia que en condiciones normales presenta un pH de 5,6. Su carácter ligeramente ácido es debido a la combinación del agua con el dióxido de carbono presente en el aire.

La lluvia que presenta en disolución los iones provenientes de los ácidos tendrá un pH inferior a 5,6 y allí donde se deposite dará lugar a una serie de cambios que alterarán las características químicas del medio, rebajando el pH de suelos y aguas superficiales con diversas consecuencias para los ecosistemas. (Vega de Kuyper, J. C., 2007)

La acidificación de las aguas de lagos, ríos y mares dificulta el desarrollo de vida acuática, lo que aumenta en gran medida la mortalidad de peces. Igualmente, afecta

directamente a la vegetación, por lo que produce daños importantes en las zonas forestales, y acaba con los microorganismos fijadores de nitrógeno. (Vega de Kuyper, J. C., 2007)

8.3.2. Cómo afecta el pH al agua

Agencias internacionales recomiendan que el agua potable tenga un pH de entre 6.5 a 8.5. El agua dura, o el agua con un pH alto contiene una gran concentración de minerales disueltos. Aunque es sana para el cuerpo, los minerales como el calcio pueden causar problemas con su posicionamiento en superficies de cerámica y por su gusto agrio. Los depósitos minerales en las bañeras y los dispositivos del hogar pueden dejar residuos en escamas. El agua suave, o con bajo pH, tiende a llevar grandes concentraciones de metales como el manganeso y hierro. Estos metales pueden ser potenciales corrosivos de los caños en las casas antiguas. (Nieman., 2001)

La acidificación de las aguas continentales tiene efectos muy graves sobre los ecosistemas acuáticos. Se ha demostrado que la mayor parte de organismos integrantes de ecosistemas de agua dulce son sensibles a la acidificación, produciéndose alteraciones en todos los niveles tróficos. (Nieman., 2001)

La disminución del pH en las aguas varía la composición química de estas, ya que se liberan al agua iones de metales pesados que a pH superior se encontraban inmovilizados en formas insolubles. El ión aluminio es muy tóxico para la mayor parte de los organismos, y a elevadas concentraciones puede causar la muerte de gran parte de los organismos existentes en lagos acidificados.

8.3.3. Medición del pH

El valor del pH se puede medir de forma precisa mediante un potenciómetro, también conocido como pHmetro, un instrumento que mide la diferencia de potencial entre dos electrodos: un electrodo de referencia (generalmente de plata/cloruro de plata) y un electrodo de vidrio que es sensible al ion de hidrógeno. (Nieman., 2001)

El pH de una disolución se puede medir también de manera aproximada empleando indicadores: ácidos o bases débiles que presentan diferente color según el pH. Generalmente se emplea un papel indicador, que consiste en papel impregnado con una mezcla de indicadores cualitativos para la determinación del pH. El indicador más conocido es el papel de litmus o papel tornasol. (Vega de Kuyper, J. C., 2007)

La determinación del pH es uno de los procedimientos analíticos más importantes y más utilizados en química y bioquímica. El pH determina muchas características notables de la estructura y de la actividad de las moléculas, por lo tanto, del comportamiento de células y organismo. (Nieman., 2001)

8.4. Análisis exploratorio de datos (AED)

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 u 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:

8.4.2. Media

Esta es una medida de tendencia central con la cual obtenemos el promedio de los datos. Se calcula dividiendo la suma del conjunto de datos entre el total de ellos (Murray, 1997).

8.4.3. Desviación Estándar

Nos indica que tan dispersos están los datos en relación con la media. Mientras mayor sea la desviación estándar, mayor será la dispersión de los datos, esto se lo realiza con el objeto de tener una visión más clara de los datos para que se ajusten con la realidad al momento de describirlos e interpretarlos para la toma de decisiones (Murray, 1997).

8.4.4. Error Estándar

Es la diferencia que existe entre el valor real (parámetro) obtenidos de las bases de datos de la UTC y de la SEK y el valor estimado resultante de la interpolación en base a los valores del muestreo (Ríos, 1997).

8.4.5. Coeficiente de Variación

Esta medida estadística nos ayuda a identificar la dispersión relativa de las bases de datos para eliminar posibles distorsiones (Ríos, 1997).

8.4.6. Mediana

Con esta medida podemos identificar el valor que se encuentra en el centro de los datos, es decir, nos permite conocer el valor que se encuentra exactamente en la mitad del conjunto de datos después que estos sean ordenados de mayor a menor o viceversa (Serrano Rodríguez).

.

8.4.7. Cuartil

Los cuartiles son valores que dividen los datos en cuatro partes iguales. Utilizando cuartiles podemos evaluar rápidamente la dispersión y la tendencia central de las bases de datos (Serrano Rodríguez).

8.4.8. Asimetría

Es la falta de simetría en la distribución de nuestros datos. Esto se refiere a si la curva que forman los valores de la serie presenta la misma forma a la izquierda y derecha de un valor central (Ríos, 1997).

8.4.9. Curtosis

Es una medida de forma. Este coeficiente indica la cantidad de datos que hay cercanos a la media, de manera que a mayor grado de curtosis, más inclinada será la forma de la curva (Ríos, 1997).

8.5. 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.

8.5.1. Gráfico 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 contruidos 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 (David, Early sample measures of variability Statist Sci, 2012).

Este gráfico brinda información sobre la forma general de la curva: simetría, curtosis (curvas más “afinadas” o más “aplanadas”), el punto de la mediana, la distribución de las observaciones a ambos lados de los valores centrales y la presencia (y el/los valores/es) de valores atípicos. Se insiste que este gráfico no refiere la frecuencia para cada valor; pero, sí, con los elementos señalados se puede inferir cómo se distribuyen esas frecuencias a lo largo de la escala de referencia. El gráfico de caja es una buena alternativa a la presentación tradicional de datos medidos con escala cuantitativa: el histograma. En éste algunas características de la distribución pueden quedar enmascaradas por la construcción de los intervalos de clase; como, por ejemplo: los valores de la escala que corresponden al 50 % de las observaciones centrales y al 25 % de las observaciones de cada lado, el valor de la mediana, los valores de observaciones

muy apartadas de las posiciones centrales, etc. Es decir, es una presentación que agrega a las ventajas de los gráficos (rápida comprensión visual) algunas referencias estadísticas (Murray, 1997).

8.6. Interpolación

La interpolación espacial es un procedimiento matemático utilizado para estimar el valor de un atributo, en una localidad o ‘celda’ a partir de valores obtenidos en puntos de medición. En el subcampo matemático del análisis numérico, se denomina interpolación a la obtención de nuevos puntos partiendo del conocimiento de un conjunto discreto de puntos. (Serrano Rodríguez).

8.6.1. Métodos de Interpolación Matemática

8.6.2. Distancia Inversa a una Potencia – Inverse Distance to a Power

Es un método conocido como IDW por su nombre en inglés: Inverse distance to a power. La distancia inversa es un interpolador medio ponderado, puede ser exacto o suavizado, debido a que los datos se ponderan durante la interpolación de modo que la influencia de un punto, en relación con otro, disminuye con la distancia (Yang, 2004). El IDW se basa en valores de las ubicaciones cercanas sin tomar en cuenta la relación espacial entre ellas. Este método es común para interpolar profundidad y contaminación del agua subterránea (Adhikary, 2017)

8.6.3. Curvatura mínima - Minimum curvature

El interpolador de curvatura mínima controla el nivel de curvatura entre puntos de muestreo utilizando el parámetro de tensión interna y la velocidad de convergencia mediante el factor de relajación (Fallas, 2007)

8.6.4. Método de Shepard modificado - Modified Shepar'd method

El método de Shepard modificado es similar a la distancia inversa a un interpolador de potencia, pero el uso de mínimos cuadrados locales elimina o reduce la apariencia de los contornos generados (Yilmaz, 2007)

8.6.5. Vecino natural – Natural Neighbor

El método de vecinos naturales está basado en el concepto de los polígonos 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 en el set de datos (**Fallas, 2007**)

8.6.6. El vecino más cercano - Nearest Neighbor

El método de vecinos más cercanos 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 muestreados, formando polígonos de Thiessen (**Li, 2008**)

8.6.7. Regresión polinómica – Polynomial regression

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

8.6.8. Base Radial – Radial basis

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

8.6.9 Triangulación con interpolación lineal – Triangulation with Linear Interpolation

Este método se basa en la construcción de una red de triángulos con el propósito de identificar las observaciones más cercanas para ser usadas en la interpolación mediante un ajuste polinomial lineal (**Li, 2008**)

8.7. Medias móviles – Moving Average

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, 1952)

8.7.1. Métrica de datos – Data Metrics

La métrica de datos es un método que se basa en la creación de grillas de información de los 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, 2004)

8.7.2. Polinomio local – Local Polynomial

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, 2004).

9. MÉTODOS GEOESTADÍSTICOS

La geo estadística 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 F. J., 2004).

Aunque la geo estadística ha supuesto una mejora considerable en la representación gráfica aplicada a la ecología y a las ciencias ambientales, para conseguir unos buenos

resultado, es preciso conocer sus fundamentos y las asunciones sobre las que se basa. Como ejemplo de aplicación de la geo estadística se estudia la distribución de una plaga en una parcela experimental (Moral García F. J., 2004).

9.1.Geoestadística

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 F. J., 2004).

9.1.1. 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.

9.1.2. 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.

9.1.3. 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.

Las herramientas de interpolación IDW (Distancia inversa ponderada) y Spline son consideradas métodos de interpolación determinísticos porque están basados directamente en los valores medidos circundantes o en fórmulas matemáticas especificadas que determinan la suavidad de la superficie resultante (Chiu R. (.).

9.1.4. Kriging

Es un método interpolador exacto o de suavizado que depende de los parámetros especificados por el usuario, además este incorpora la anisotropía y las tendencias subyacentes mediante la construcción del variograma (Yilmaz, 2007)

Hay una segunda familia de métodos de interpolación que consta de métodos geo estadísticos, como Kriging, que está basado en modelos estadísticos que incluyen la autocorrelación, es decir, las relaciones estadísticas entre los puntos medidos. Gracias a esto, las técnicas de estadística geográfica no solo tienen la capacidad de producir una superficie de predicción, sino que también proporcionan alguna medida de certeza o precisión de las predicciones (García, 2004).

Kriging presupone que la distancia o la dirección entre los puntos de muestra reflejan una correlación espacial que puede utilizarse para explicar la variación en la superficie. La herramienta Kriging ajusta una función matemática a una cantidad especificada de puntos o a todos los puntos dentro de un radio específico para determinar el valor de salida para cada ubicación. Kriging es un proceso que tiene varios pasos, entre los que se incluyen, el análisis estadístico exploratorio de los datos, el modelado de variograma, la creación de la superficie y (opcionalmente) la exploración de la superficie de varianza (A. Burrough, 1998).

10. HIPÓTESIS

10.1. Hipótesis Alternativa

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

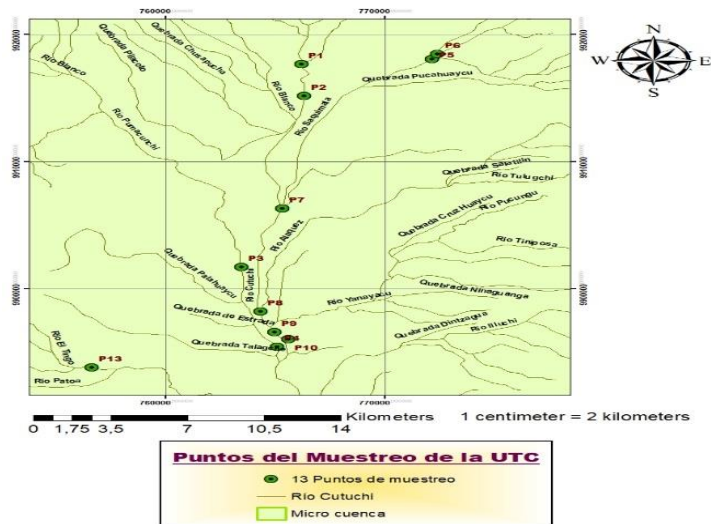
10.2. Hipótesis Nula

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

11. METODOLOGÍA (TÉCNICAS, MÉTODOS, INSTRUMENTOS)

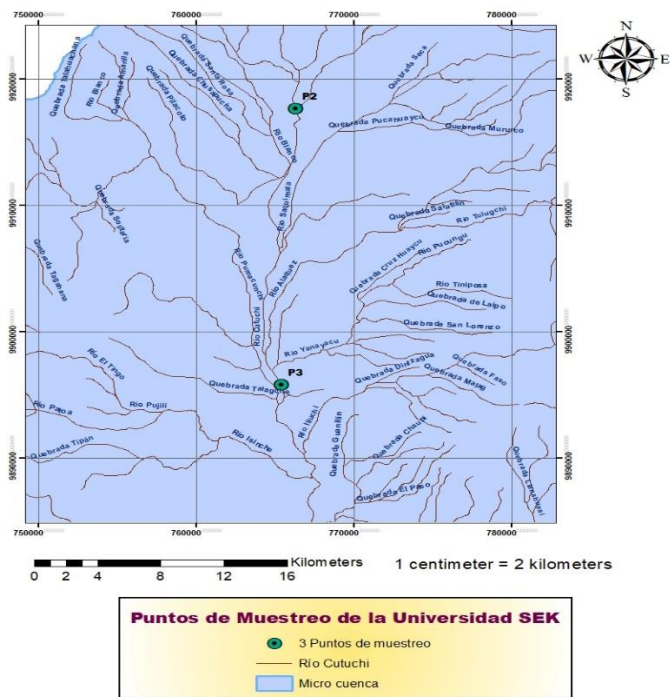
11.1. ÁREA DE ESTUDIO

La microcuenca del río Cutuchi (MRC) se encuentra ubicado en el cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi, nace de los deshielos del volcán Cotopaxi y, tras un recorrido



Fuente: Espín, E (2018)

Mapa3: Puntos de muestreo con 7 muestras cada punto tomados por la Universidad SEK



Fuente: Espín, E (2018)

11.2. ANÁLISIS EXPLORATORIO DE DATOS

Es un modelo teórico que nos permitió establecer un buen entendimiento básico del comportamiento del pH con las bases de datos de la UTC y de la SEK obtenidos de la microcuenca del Río Cutuchi, dicho análisis se basó en técnicas estadísticas y gráficas, los cuales nos permitieron explorar la distribución del pH identificando características

tales como: valores atípicos o outliers, saltos o discontinuidades, concentraciones de valores, forma de la distribución, etc.

Se organizó la información que obtuvimos con las bases de datos de manera que se pueda detectar algún patrón de comportamiento o una tendencia inusual con la ayuda del software estadístico InfoStat, en el cual realizamos las medidas de resumen tales como: la media (m), la desviación estándar (D.E), el error estándar (E.E), el coeficiente de variación (C.V), el mínimo (Min), el máximo (Max), la mediana (Me), el cuartil (Q), la asimetría, la kurtosis y los datos faltantes, con esto realizamos el análisis estadístico e interpretamos el comportamiento de los datos del pH.

11.3. PROCESAMIENTO CON SURFER

Una vez realizado el análisis exploratorio con las medidas de resumen e identificado el comportamiento de los datos se procedió a realizar las interpolaciones en el Software Surfer el cual incluye 12 tipos de interpoladores: Distancia Inversa Ponderada , Curvatura mínima, Método de Shepard modificado, Vecino natural, El vecino más cercano , Regresión polinómica , Base Radial, Triangulación con interpolación lineal, Medias móviles, Métrica de datos, Polinomio local y kriging, con los cuales se trabajó para poder obtener el rendimiento de cada uno de ellos e identificar cual de todos estos métodos es el que más se ajusta a nuestro estudio.

11.4. VALIDACIÓN DEL MÉTODO

La validación del método, es el proceso por el cual se demostrará que los procedimientos realizados con anterioridad son aptos para el uso indicado. Es importante conocer cuál de los métodos empleados para la interpolación de datos sobre la concentración de pH en la MRC resulta mejor. La validación del método nos ayuda a verificar la eficacia y las características de desempeño de los estimadores de interpolación (Melo, 2012); por lo que fue valorado con 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 muestra a continuación:

$$\text{EMC: } \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (A_t - F_t)^2}$$

Donde:

n: número de datos

A_t : valor predicho (datos interpolados)

F_t : valor observado o conocido (datos reales)

11. 5. MAPAS DE INTERPOLACIÓN

Se realiza con un Sistema de Información Geográfica (SIG). Un SIG normalmente proporciona herramientas de análisis espacial para calcular estadísticas de las entidades y realizar actividades de geoprocésamiento como la interpolación de datos.

Los mapas de interpolación del pH en la MRC se realizaron con el software ArcGis. Para la mejor interpolación de los resultados, el cauce del río que pertenece a la parte del estudio se dividió en 5 afluentes: Isinche, Tomacuntze, Saquimala, Cutuchi 1, Cutuchi 2, se los dividió de esta manera ya que un afluente va a presentar mayor contaminación que otro y en teoría esto no debería afectar a otros afluentes.

Se utilizó el interpolador geoestadístico, el cual fue uno de los métodos de menor error que obtuvimos al interpolarlo en Surfer, a pesar de que los valores son muy altos y no son aceptables. De la misma manera como lo hicimos en el software Infostat procedemos a realizar el AED para la distribución de los datos con el histograma y así podremos observar si estos están distribuidos normalmente; si no existiera una buena distribución se hace una transformación logarítmica para intentar que los datos se ajusten a lo requerido y la media y la mediana sean parecidas.

12. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

12.1. Análisis Exploratorio de Datos

Para el AED con el Software InfoStat las 2 bases de datos de la UTC y la SEK, fueron ingresadas para evaluar: la calidad de datos, explorar la distribución y detectar el patrón de comportamiento del pH; identificando características tales como: valores atípicos o outliers mediante gráficos como el blox-plot.

12.1.1. 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 3: Base de datos del pH de la UTC

PUNTOS	X	Y	pH	PUNTOS	X	Y	pH	PUNTOS	X	Y	pH
P1	766188	9917672	7,17	P2	766323	9915180	5,87	P3	763440	9901733	6,57
P1	766188	9917672	8,00	P2	766323	9915180	8,32	P3	763440	9901733	7,56
P1	766188	9917672	7,56	P2	766323	9915180	6,73	P3	763440	9901733	5,20
P1	766188	9917672	4,00	P2	766323	9915180	3,97	P3	763440	9901733	7,40
P1	766188	9917672	6,80	P2	766323	9915180	6,62	P3	763440	9901733	7,80
P1	766188	9917672	5,66	P2	766323	9915180	6,61	P3	763440	9901733	7,50
P1	766188	9917672	7,93	P2	766323	9915180	8,74	P3	763440	9901733	8,31
P1	766188	9917672	8,22	P2	766323	9915180	8,56	P3	763440	9901733	8,16
P1	766188	9917672	8,07	P2	766323	9915180	8,50	P3	763440	9901733	8,68
P1	766188	9917672	7,98	P2	766323	9915180	8,32	P3	763440	9901733	8,38
P1	766188	9917672	8,17	P2	766323	9915180	8,12	P3	763440	9901733	8,40

PUNTOS	X	Y	pH	PUNTOS	X	Y	pH	PUNTOS	X	Y	pH
P4	765089	9895459	7,77	P5	772129	9918060	7,77	P6	772393	9918447	8,25
P4	765089	9895459	7,53	P5	772129	9918060	7,25	P6	772393	9918447	8,25
P4	765089	9895459	7,80	P5	772129	9918060	5,23	P6	772393	9918447	7,10
P4	765089	9895459	8,56	P5	772129	9918060	8,00	P6	772393	9918447	5,30
P4	765089	9895459	7,56	P5	772129	9918060	8,00	P6	772393	9918447	5,91
P4	765089	9895459	8,56	P5	772129	9918060	8,00	P6	772393	9918447	6,01
P4	765089	9895459	4,00	P5	772129	9918060	4,00	P6	772393	9918447	8,23
P4	765089	9895459	7,32	P5	772129	9918060		P6	772393	9918447	7,85
P4	765089	9895459	5,57	P5	772129	9918060	4,62	P6	772393	9918447	7,82
P4	765089	9895459	5,51	P5	772129	9918060	5,35	P6	772393	9918447	7,63
P4	765089	9895459	6,22	P5	772129	9918060	6,68	P6	772393	9918447	7,48

PUNTOS	X	Y	pH	PUNTOS	X	Y	pH	PUNTOS	X	Y	pH
P7	765330	9906313	7,67	P8	764315	9898242	8,30	P9	764948	9896593	7,78
P7	765330	9906313	7,40	P8	764315	9898242	7,17	P9	764948	9896593	8,39
P7	765330	9906313	7,80	P8	764315	9898242	6,73	P9	764948	9896593	6,20
P7	765330	9906313	4,20	P8	764315	9898242	8,56	P9	764948	9896593	8,05
P7	765330	9906313	6,85	P8	764315	9898242	8,56	P9	764948	9896593	8,05
P7	765330	9906313	6,64	P8	764315	9898242	8,56	P9	764948	9896593	8,05
P7	765330	9906313	7,89	P8	764315	9898242	4,15	P9	764948	9896593	6,39
P7	765330	9906313	8,19	P8	764315	9898242	6,56	P9	764948	9896593	7,26
P7	765330	9906313	8,09	P8	764315	9898242	4,32	P9	764948	9896593	4,23
P7	765330	9906313	7,89	P8	764315	9898242	4,60	P9	764948	9896593	4,19
P7	765330	9906313	7,86	P8	764315	9898242	5,58	P9	764948	9896593	5,72

PUNTOS	X	Y	pH	PUNTOS	X	Y	pH	PUNTOS	X	Y	pH
P10	765588	9896070	8,78	P11	767312	9888504	8,40	P12	767373	9888511	7,36
P10	765588	9896070	5,23	P11	767312	9888504	7,70	P12	767373	9888511	8,34
P10	765588	9896070	5,05	P11	767312	9888504	8,20	P12	767373	9888511	7,90
P10	765588	9896070	8,78	P11	767312	9888504	6,50	P12	767373	9888511	8,00
P10	765588	9896070	8,78	P11	767312	9888504	8,60	P12	767373	9888511	8,18
P10	765588	9896070	8,78	P11	767312	9888504	8,74	P12	767373	9888511	8,36
P10	765588	9896070	6,22	P11	767312	9888504	7,14	P12	767373	9888511	4,07
P10	765588	9896070	6,79	P11	767312	9888504	6,92	P12	767373	9888511	7,32
P10	765588	9896070	4,14	P11	767312	9888504	5,04	P12	767373	9888511	6,70
P10	765588	9896070	6,16	P11	767312	9888504	7,17	P12	767373	9888511	5,57
P10	765588	9896070	6,47	P11	767312	9888504	7,04	P12	767373	9888511	6,44

PUNTOS	X	Y	pH
P13	756640	9893828	
P13	756640	9893828	8,18
P13	756640	9893828	8,30
P13	756640	9893828	8,40
P13	756640	9893828	6,80
P13	756640	9893828	6,80
P13	756640	9893828	8,10
P13	756640	9893828	8,47
P13	756640	9893828	8,36
P13	756640	9893828	8,58
P13	756640	9893828	8,76

Fuente: (Natura-UTC, 2010)

12.1.2. AED base de datos UTC.

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

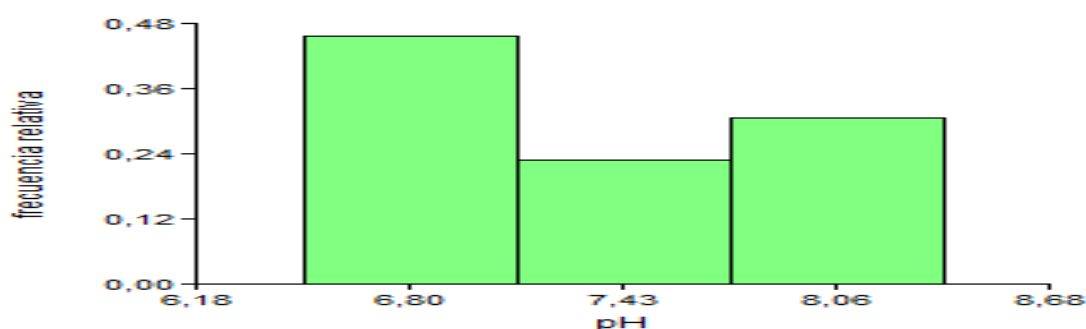
Tabla 4: Medidas de resumen UTC

VARIABLE	N	MEDIA	D.E	E.E	C.V	Min	Max	Mediana	Q1	Q3	Asimetría	Kurtosis	Datos faltantes
Ph	13	7,27	0,56	0,15	7,65	6,49	8,37	7.26	6.83	7,75	0,46	-0,77	0

Fuente: Espín, E (2018)

El análisis de medidas de resumen de los datos UTC para los trece puntos se presentan en la tabla 4, la mediana tiene bastante relación con la media por lo tanto su distribución es asimétrica con cola a la derecha (Gráfico 1). La dispersión de los datos alrededor de la media es baja ($DE = 0,56$), el error estándar es muy cercano a cero con una distribución normal. Sin embargo el coeficiente de variación es grande ($>20\%$), pudiendo evidenciarse valores atípicos (Gráfico 2). El rango del pH analizados va desde 6,49 a 8,37 (Tabla 4). El cuartil 1 representa el 25% de los datos en este caso tiene un valor de: 6,83 y el cuartil 3 es: 7,75 lo que representa el 75% de los datos. La asimetría es: 0,46 como el valor es positivo los datos son simétricos. El valor de la kurtosis fue -0,77 por lo tanto su distribución es leptocurtica (distribución normal).

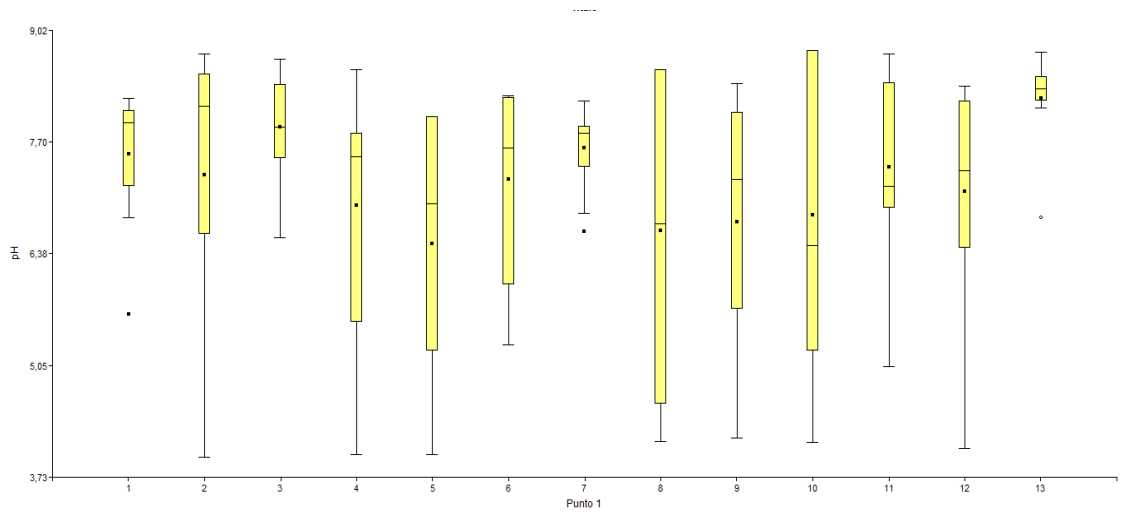
Gráfico 1: Histograma UTC



Fuente: Espín, E (2018)

El análisis gráfico mediante caja boxplot e histogramas permitió conocer y entender los datos de pH, así como ratificar el análisis de medidas de resumen.

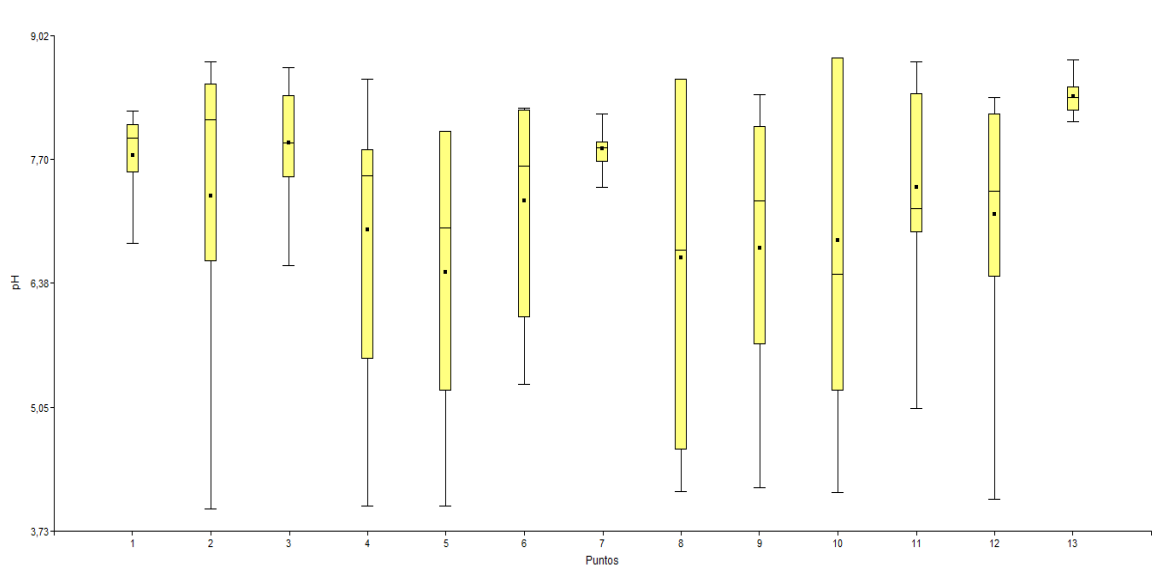
Gráfico 2: Box-Plot Universidad Técnica de Cotopaxi con outliers



Fuente: Espín, E (2018)

Se aplicó la función de grafico en caja box- plot el mismo que nos permite verificar la presencia de outliers; como se observa en el grafico 2, la existencia de tres puntos fuera de rango por lo que es necesario eliminarlos y completarlos con la media

Gráfico 3: Box-Plot Universidad Técnica de Cotopaxi sin outliers



Fuente: Espín, E (2018)

La completación de los valores de pH eliminados por ser valores atípicos fueron mediante la media, finalmente en el grafico no debería haber outliers de ser el caso procedemos 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 ratifica la simetría de la distribución.

12.1.3. Base de datos de la 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 5: Base de datos del pH de la SEK

PUNTOS	X	Y	pH
P1	755389	7852425	7,46
P1	755389	7852425	7,69
P1	755389	7852425	7,74
P1	755389	7852425	7,2
P1	755389	7852425	7,7
P1	755389	7852425	8,1
P1	755389	7852425	6,89
P2	766244	9917741	7,74
P2	766244	9917741	7,72
P2	766244	9917741	6,85
P2	766244	9917741	7,72
P2	766244	9917741	7,55
P2	766244	9917741	7,59
P2	766244	9917741	8,1
P3	765352	9895884	7,69
P3	765352	9895884	6,72
P3	765352	9895884	7,96
P3	765352	9895884	7,57
P3	765352	9895884	6,95
P3	765352	9895884	8
P3	765352	9895884	8,08

Fuente: (SEK, 2017)

12.1.4. AED de la base de datos de la SEK

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

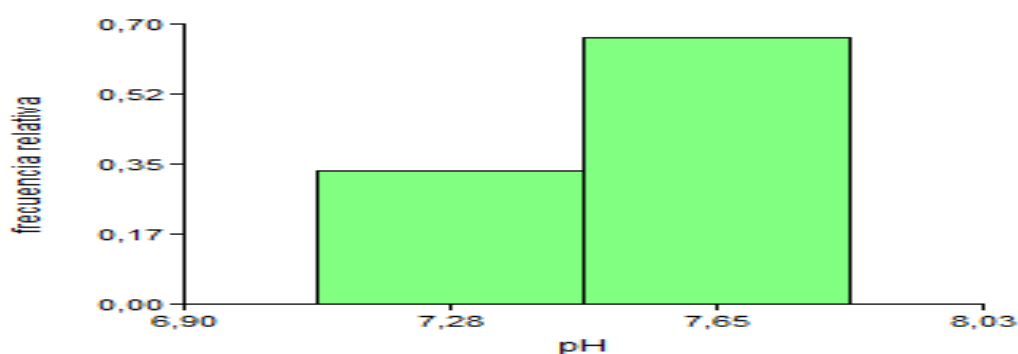
Tabla 6: Medidas de resumen SEK

VARIABLE	N	MEDIA	D.E	E.E	C.V	Min	Max	Mediana	Q1	Q3	Asimetría	Kurtosis	Datos faltantes
Ph	3	7,57	0,42	0,24	5,51	7,09	7,84	7,78	7,09	7,84	-1,69		0

Fuente: (Espín, 2018)

El análisis de medidas de resumen de los datos SEK para los 3 puntos se presentan en la tabla 6, la mediana es mayor que la media por lo tanto su distribución es asimétrica con cola a la derecha (gráfico 4). La dispersión de los datos alrededor de la media es baja ($D.E=0.42$), el error estándar es cercano a cero demostrando una distribución normal. Sin embargo el coeficiente de variación es grande ($>20\%$), pudiendo evidenciarse valores atípicos (Gráfico 5). El rango de pH analizado va desde 7,09 a 7,84 (Tabla 6). El cuartil 1 representa el 25% de los datos en este caso tiene un valor de: 7,09 y el cuartil 3 es: 7,84 lo que representa el 75% de los datos. La asimetría es: - 1,69 como el valor es negativo los datos no son tan simétricos. El valor de la kurtosis fue cero por lo tanto su distribución es mesocurtica (distribución normal).

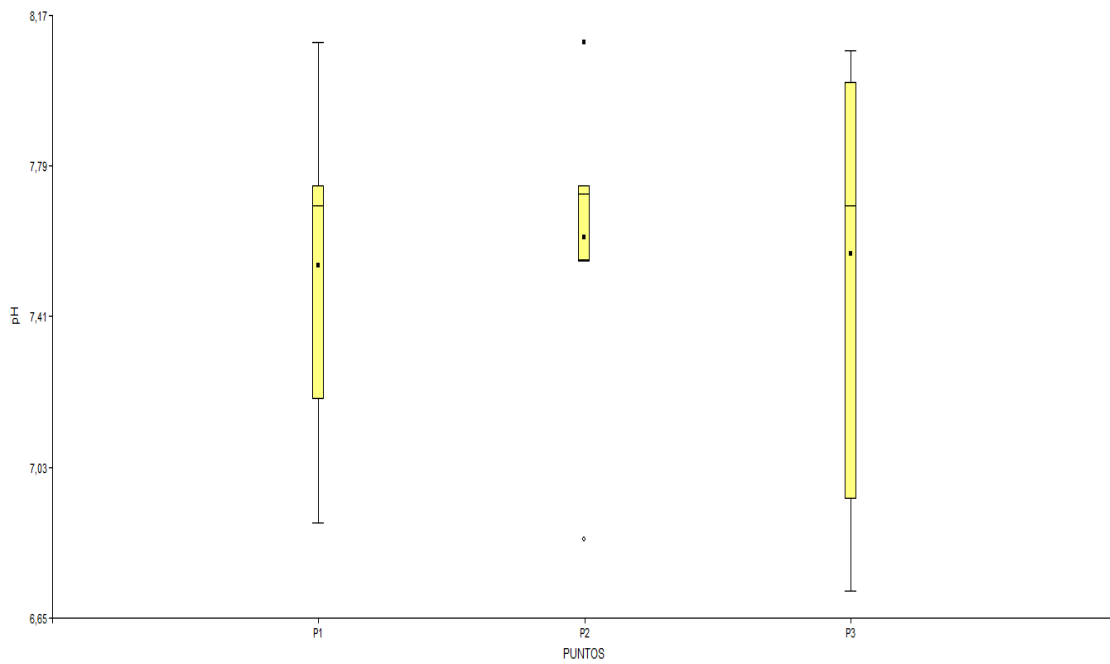
Gráfico 4: Histograma SEK



Fuente: Espín, E (2018)

El análisis gráfico mediante caja boxplot e histogramas permitió conocer y entender las datos del pH, así como ratificar el análisis de medidas de resumen.

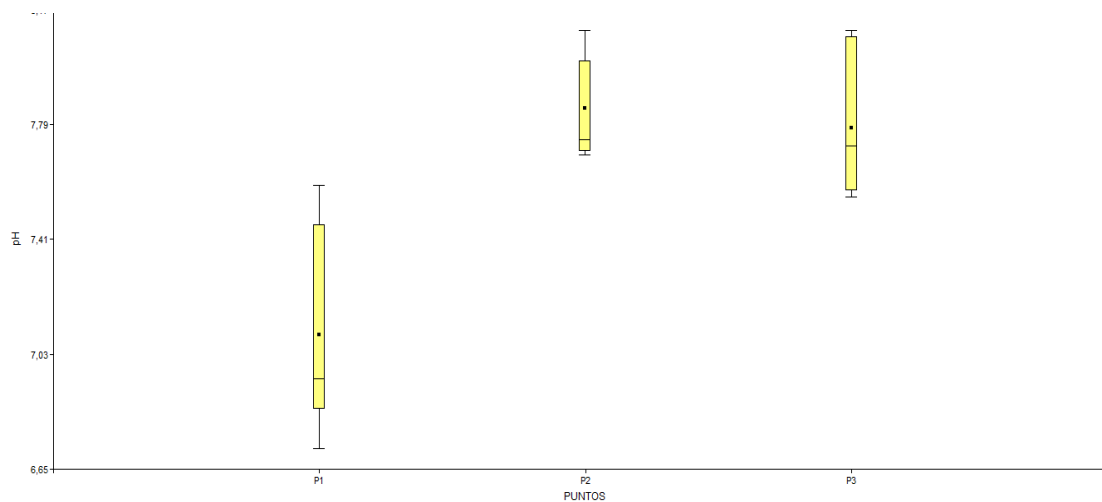
Gráfico 5: Box-Plot SEK con outliers



Fuente: Espín, E (2018)

Se aplicó la función de grafico en caja box- plot el mismo que nos permite verificar la presencia de outliers; como se observa en el grafico 5, la existencia de un punto fuera de rango por lo que es necesario eliminarlos y completarlos con la media.

Gráfico 6: Box-Plot sin outliers



Fuente: Espín, E (2018)

La completación del valor de pH eliminado por ser un valor atípico fue mediante la media, finalmente en el grafico no debería haber outliers de ser el caso procedemos 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 ratifica 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 pH , el cual tienen una saturación 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 del pH 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.

12.2. PROCESAMIENTO CON SURFER

Se procedió a la interpolación de los datos con el programa Surfer 8.0 obteniendo como resultado los siguientes valores.

Tabla 7: Error Medio Cuadrático (EMC) de la base de datos de la UTC y de la SEK

METODO	EMC- UTC	EMC- SEK
DISTANCIA INVERSA	1,38	7,57
KRIGYNG	1,33	7,56
MINIMUN CURVATURE	3,38	7,54
MODIFIED SHEPARDS	6,43	1,70141E+36
NATURAL NEIGHBOR	1,33469E+26	170141E+35

NEAREST NEIGHBOR	1,34	7,46
POLINOMIAL REGRESION	1,15	7,54
RADIAL BASSIC	2,33	7,64
TRIANGULATION	-	-
MEDIAS MOVILES	1,16	7,29
DATA TRICS	1,41	18,00
LOCAL POLINOMIAL	1,41	7,68

Fuente: Espín, E (2018)

9.2.1. VALIDACIÓN DEL MÉTODO

En el caso de la validación de método con ayuda el error medio cuadrático se observó los mejores interpoladores como fueron la regresión polinómica tanto para la base de datos de la UTC como para la base de datos SEK, presenta un mejor rendimiento en la interpolación.

En el segundo método data móviles de la misma forma fue uno de los mejores métodos ya que este método aumenta su exactitud si el conglomerado de este punto muestrales seleccionado para calcular el punto no muestral, varía en función de un estudio previo.

En el tercer método Kriging presenta un rendimiento aceptable a pesar de que los valores son altos, con este método las funciones pueden deducirse analizando la correlacion espacial al realizar.

9.2.2. Discusión de resultados

Los doce métodos analizados presentan variabilidad en la predicción del pH. En la base de datos de la UTC, se obtuvo como resultado que los mejores métodos con menor error medio cuadrático tanto para la base de datos de la UTC como para la base de datos de la SEK fueron: *Regresión polinómica, Moving average y Krying*.

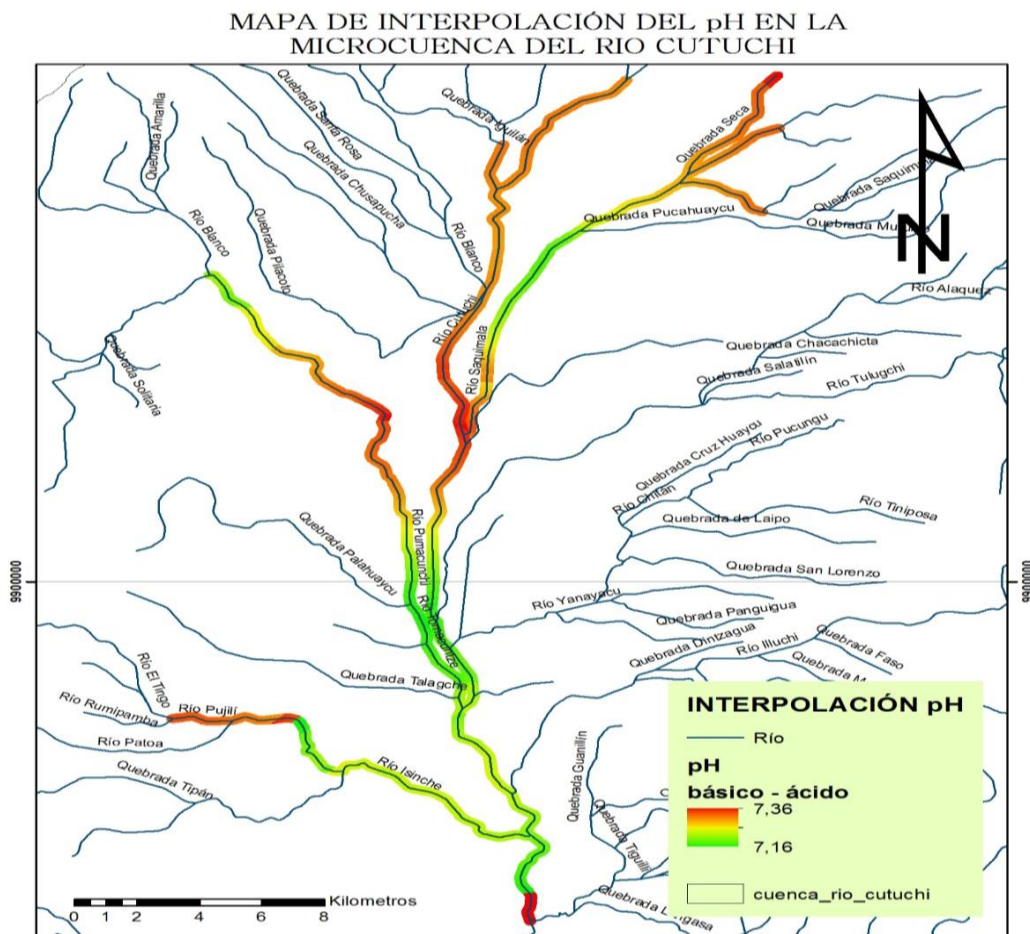
La investigación concuerda con el estudio realizado en el río Bogotá que el interpolador Kriging es el más adecuado a pesar de que los resultados son altos en comparación con el estudio del río Bogotá.

12.4. MAPA DE INTERPOLACIÓN

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

Los resultados de esta evaluación permitieron elaborar un mapa, del pH de la zona de estudio. A continuación, se muestran el mapa elaborado con el programa ArGIS 10.2

Mapa 4: Interpolación del pH



12.4.1 Interpretación del mapa

Para la interpretación del mapa se evaluaron 5 tramos:

En el tramo Cutuchi 1 se observa que tiene un pH básico teniendo en este afluente descargas de aguas servidas domésticas.

En el tramo Cutuchi 2 se observa un pH ácido debido a que existen desgas de industrias, el pH tiene una gran influencia en los procesos químicos que tienen lugar en el agua.

Para el tramo Tomacutze se observa un pH básico debido a las descargas de aguas servias, lubricadoras.

Para el tramo Saquimala se observa un pH ácido básico siendo que sus descargas corresponden a parámos agua limpia.

Y para el tramo Isinche se observa un Ph ácido debido a las descargas servidas, lubricadores y pedazos de heces fecales.

13. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

13.1. CONCLUSIONES

- ❖ El análisis exploratorio de datos permitió evaluar el comportamiento y dispersión de las concentraciones del pH para las bases de datos UTC y SEK mediante el programa infostat en las dos bases de datos se encontró valores atípicos que fueron reemplazados por la media.
- ❖ Tanto como para la base de datos de la UTC como para la base de datos de la SEK, el método regresión polinómica, es adecuado para la interpolación de varios puntos en la micro cuenca del Río Cutuchi, convirtiéndose en una herramienta eficiente para obtener información del pH en varios puntos de muestreo disminuyendo costos que implica el muestreo en campo.
- ❖ El mapa de interpolación con el indicador pH permitió conocer el comportamiento espacial del kriging en Arcgis y a su vez comparar resultados con el Surfer y los métodos de interpolación, además observar a través del mapa los focos de contaminación cercanos a cada tramo de la MRC.

13.3. RECOMENDACIONES

- ❖ Se recomienda mantener el monitoreo de la variable pH disuelto con una periodicidad al menos bimestral, como indicador más relevante de la calidad del agua.
- ❖ La interpolación con Surfer 8.0 es conveniente para el parámetro pH ya que se ajusta al programa y se puede controlar mediante programas geoestadísticos.
- ❖ Se considera realizar mapas en el programa Arcgis, puesto que nos ayuda a saber con lucidez su función y su beneficio hacia la investigación respectiva.

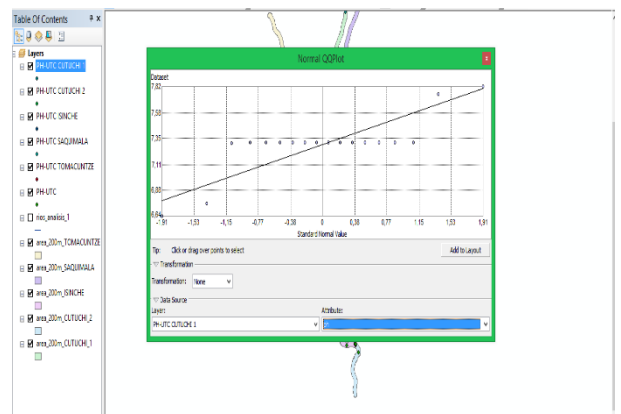
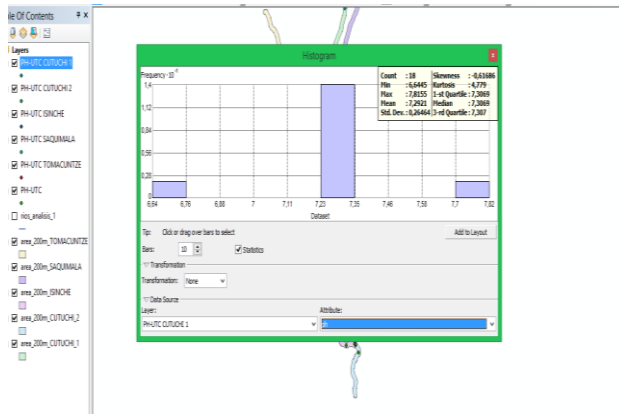
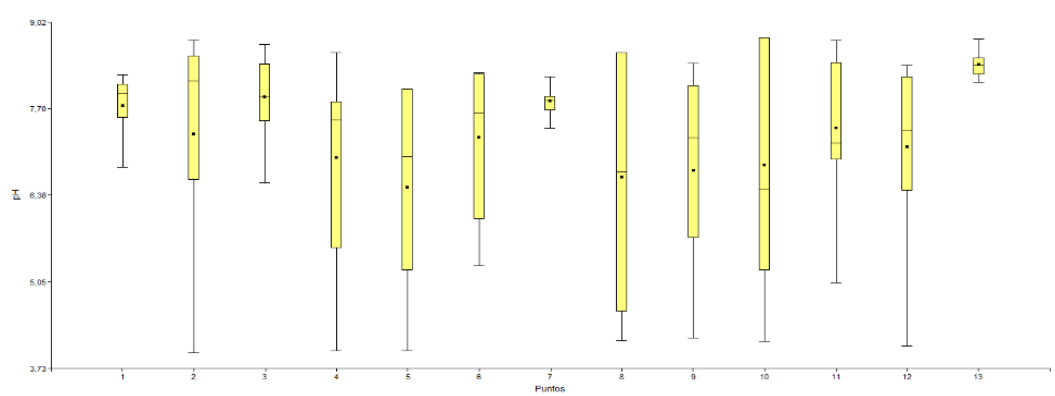
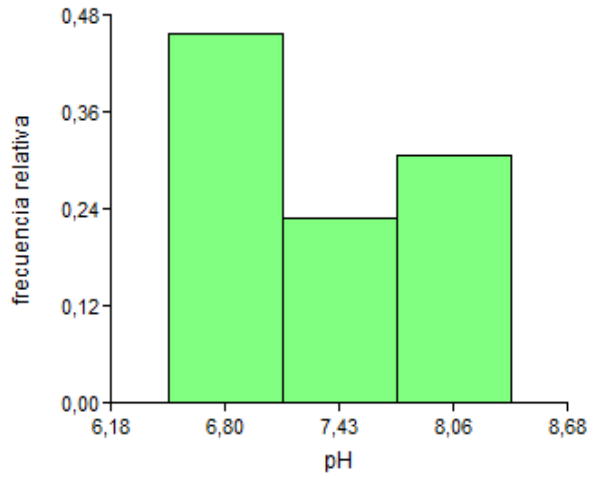
14. Bibliografía

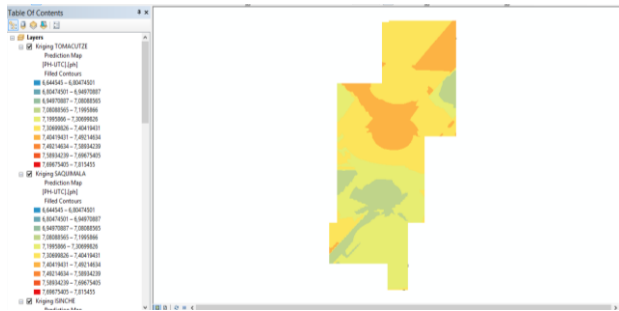
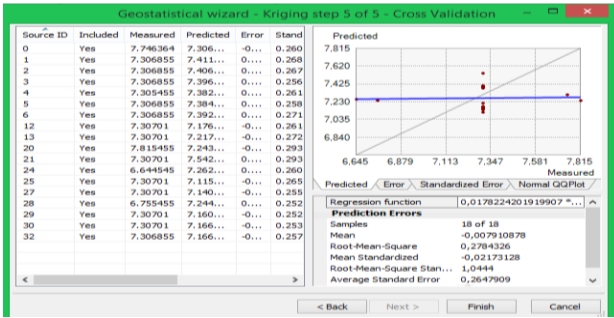
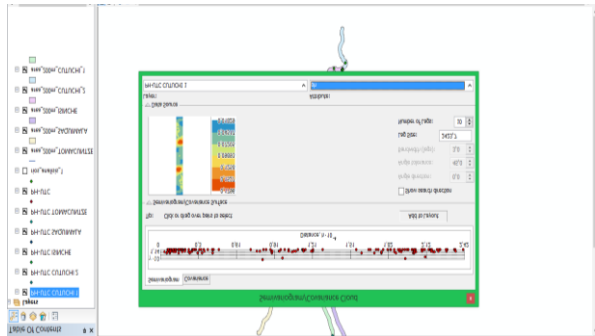
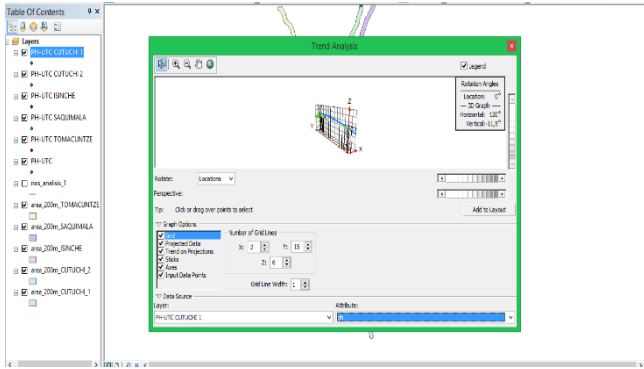
- ✓ Admin. (2008). Problemas de contaminación en el agua.
- ✓ Alexandra, A. &. (2011). Evaluación de la calidad del agua y propuestas de tratamiento y control de la contaminación. Universidad de Cádiz.
- ✓ Alvarado.M.S, C. (2016). Determinación del índice de calidad de agua ICA-NSF.
- ✓ Ansley, C., Kohn, R. (1986). *Prediction mean squared error for state space models with estimated parameters*.
- ✓ Burrough.P.A. (1986). *Principles of Geographical information Systems for Land Resources Assessment*.
- ✓ Catalán Lafuente, J. (1990). *Química del Agua*. Madrid: Bellisco.
- ✓ Chiu, R. (s.f.). Método de Interpolación de Kriging.
- ✓ Fernández, N., Solano, F.,. (2005). *Índices de Calidad y de contaminación del Agua*. España .
- ✓ 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.
- ✓ Gary D. (1993). *Química Analítica*. México: Limusa Noriega: Tercera Edición.
- ✓ González, M. (2011). *Métodos de Interpolación*. Mexico, Distrito Federal .

- ✓ Hengl, T. (2009). *Practical guide to geostatistical mapping of environmental variables*,. Amsterdam : Segunda Edición.
- ✓ Hernández, J., Ramírez, M.J., Ferri, C. (2004). *Introducción a la minería de datos*. Pearson.
- ✓ Hora, D. L. (Diciembre de 2017). Ecuador 88% de las aguas residuales llegan a los ríos. *La Hora*.
- ✓ MAE. (2017). Plan de descontaminación del Río Cutuchi. *Ministerio del Ambiente*.
- ✓ Manahan. (2007). *Introducción a la Química Ambiental*. Mexico: Primera Edición.
- ✓ Martínez, C. (2006). *Estadística básica aplicada*. Ecoe Ediciones.
- ✓ Melo, C. (2012). *Análisis Geoestadístico Espacio Tiempo Basado en Distancias y Splines con Aplicaciones*. Barcelona.
- ✓ Moral García, F. J. (2004). *Aplicación de la geoestadística en las ciencias ambientales* .
- ✓ Nieman. (2001). *Fundamentos de Química Analítica*. Madrid, España:: Octava Edición.
- ✓ OMS. (2017). Monitoreo de la Calidad del agua: Guía práctica para diseñar e implementar estudios y programas de monitoreo. *Ecociencia*.
- ✓ Peña, D. (2002). Análisis de datos multivariantes. *McGraw- Hill*.
- ✓ Press, W. H., S. A. Teukolsky, W. T. Vetterling y B. P. (2008). Flannery Numerical Recipes in C. *The Art of Scientific Computing*.
- ✓ Robertson, G. (1987). Geostatistics in ecology: interpolating with known variance. . *Ecology*, 744-748.
- ✓ Romero. R., Zúnica, R.,. (2008). *Métodos estadísticos en ingeniería*. LIMUSA: Mexico.
- ✓ SENAGUA. (2017). Red Nacional de Monitoreo de la Calidad del Agua.
- ✓ Tapia, V. B. (2013). *Propuesta de un Plan de Manejo de la microcuenca del Río Cutuchi*. Quito, Ecuador: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- ✓ USGS. (2006). *Handbooks for Water- Resources Investigations. COLLECTION OF WATER SAMPLES*.
- ✓ Vega de Kuyper, J. C. (2007). *Química del Medio Ambiente*. México: Segunda Edición.

15.Anexos

VARIABLE	N	MEDIA	D.E	E.E	C.V	Min	Max	Mediana	Q1	Q3	Asimetría	Kurtosis	Datos faltantes
Ph	13	7,27	0,56	0,15	7,65	6,49	8,37	7.26	6.83	7,75	0,46	-0,77	0





HOJA DE VIDA



Nombres Apellidos: Evelin Micaela Espín Villalva

Edad: 25 años

Dirección: Cotopaxi -Salcedo

Tel: 2-729 -833 / 0983818904

Email: evemicaela25@hotmail.com

ESTUDIOS

Primaria : Escuela Leopondo de Navas

Secundaria : Colegio Nacional Experimental Salcedo

Título : Bachiller en QUIMICO BIOLÓGICAS

Superior : Universidad Técnica de Cotopaxi

Título: Ingeniera en Medio Ambiente

EXPERIENCIA LABORAL

ABRIL – JULIO 2018 Empresa Pública de Aseo y Gestión Ambiental del Cantón Latacunga

EPAGAL

Tareas realizadas: ÁREA DESECHO SÓLIDOS

REFERENCIAS PERSONAALES

Ing. Diana Cañar

Empressa Epagal

Cargo : Gerente

Teléfono : 0995598896

Congresos

Congreso III SEMINARIO CIENTIFICO INTERNACIONAL DE COOPERACIÓN UNIVERSITARIA

PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE

Ing Victor Villalva

Ocupación : Supervisor en ECUATRAN-Ambato

Teléfono : 0983469208

Lic. Marcelo Espín

Ocupación : Docente

Teléfono : 0998415816

