



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

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

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

AUTOR: Barba Oña Francis Gabriela

TUTOR: MSc. Kalina Marcela Fonseca Largo

LATACUNGA - ECUADOR

Agosto – 2018

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo **FRANCIS GABRIELA BARBA OÑA** declaro ser autor (a) del presente proyecto de investigación: **VARIACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE NITRATOS EN LA MICROCUENCA DEL RÍO CUTUCHI UTILIZANDO TÉCNICAS DE ESTIMACIÓN GEOESTADÍSTICA**, 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.

.....

Francis Gabriela Barba Oña

1723305908

## 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 **BARBA OÑA FRANCIS GABRIELA**, identificado con C.I. N° **1723305908** de estado civil **SOLTERA** y con domicilio en Machachi , Urbanización Santa Inés; vía al barrio Guitig, 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, 2018

**Tutor:** Ing. .MSc. Kalina Marcela Fonseca Largo

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

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

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

**CLÁUSULA CUARTA. - OBJETO DEL CONTRATO:** Por el presente contrato **LA/EL CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los

siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

---

Francis Gabriela Barba Oña

**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 de nitratos en la microcuenca del Cutuchi utilizando técnicas de estimación geo- estadística.”, de Francis Gabriela Barba Oña , 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: Francis Gabriela Barba Oña con el título de Proyecto de Investigación: “Variación Espacio-Temporal de nitratos en la microcuenca del 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**

A Dios, por guiarme a lo largo del camino y darme las fuerzas de seguir adelante y no dejarme vencer frente a las adversidades.

Gracias a la Ing. MSc: Kalina Fonseca por su compromiso, entrega y dedicación durante el desarrollo del presente proyecto.

A la Universidad Técnica de Cotopaxi y Universidad Internacional SEK por habernos facilitado los datos para nuestro trabajo.

A mis padres Juan Francisco y Nora por ser los principales promotores de mis sueños, gracias a ellos por cada día confiar y creer en mí y en mis expectativas. Gracias por cada consejo y por cada una de sus palabras que me guiaron durante mi vida.

A mis hermanos Geovanny Francisco y Gardenia Monserrat por su apoyo y cariño por dejarme ser su ejemplo.

Al Dr.: Patricio Noroña gracias por sus palabras y terapias que me llevaron a cultivar un alma feliz, con un corazón agradecido por cada problema que ha venido a mi vida.

A Jefferson gracias por el apoyo, motivación y paciencia, por haber estado junto a mi durante este duro camino.

A Cristian que ha sido mi mano derecha gracias por haber estado conmigo incondicionalmente

A mis amigas Evelin, Paola, Paulina, por el compromiso, esfuerzo y el apoyo que nos llevó a lograr nuestro objetivo.

**Francis Gabriela Barba Oña**



## **DEDICATORIA**

Principalmente a mis padres que han estado conmigo en todo momento. Gracias por todo Papá y Mamá por darme la dicha de compartir una meta más a su lado por haberme formado como persona.

Mis abuelitos Hernán y Manuel que aunque no están presentes físicamente sé que están muy contentos y llenando de bendiciones mi vida, mis hermanos por no haberme dejado sola.

A Rolando y Alejandra que han sido como mis segundos padres, gracias por los consejos y la dedicación que le han puesto a mi vida.

Mis amigas Paulina, Evelin, Paola, Yoselin gracias por el apoyo, cariño las risas a lo largo de nuestra carrera.

## RESUMEN

El presente estudio evaluó la variación espacio- temporal de las concentraciones de nitrato en la Microcuenca del río Cutuchi (RMC), la cual es parte del Pastaza que nace en los páramos de los deshielos del volcán Cotopaxi, tiene un área de cuenca de 2677 km<sup>2</sup> y una longitud aproximada de 60 km. La contaminación por la concentración de nitratos afecta alterando los cultivos agrícolas y salud humana debido a la presencia en las aguas superficiales. Para la investigación se utilizaron dos bases de datos una de la Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC) y la otra de la Universidad Internacional SEK, las cuales fueron monitoreadas desde el mes de septiembre de 2010 a julio de 2011 por la UTC, y para la SEK desde el mes de octubre hasta abril del año 2017. Inicialmente se realizó un análisis exploratorio de datos (AED), para evaluar la distribución y el comportamiento de los datos, posteriormente se procesaron con el paquete interpolador Surfer y finalmente se realizaron los mapas de distribución espacial de nitratos en la MRC. Como resultado, se obtuvo en el AED que los datos presentan pocos outliers y completados con el criterio de la media se interpolaron para obtener los tres mejores interpoladores: medias móviles, función de base radial 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 nitratos en la MRC, que no fueron monitoreados y predecir su comportamiento de distribución, de esta manera se disminuye costos de tiempo y dinero que demanda el levantamiento de información de campo.

**Palabras clave:** Microcuenca del río Cutuchi (MRC), interpolación, nitrato, función de base radial.

.....  
MSc: Kalina Fonseca

1723534457

## ABSTRACT

The present study evaluated the spatio-temporal variation of the nitrate concentrations in the Cutuchi River Microbasin (RMC), which is part of the Pastaza River that originates in the badlands of the Cotopaxi volcano, has a basin area of 2677 km<sup>2</sup> and an approximate length of 60 km. The contamination of the rivers by the concentration of nitrates affecting the agricultural crops and human health due to the presence in surface waters. For the research, two databases were used, one from the Technical University of Cotopaxi (UTC) and the other from the International SEK University, which were monitored from September 2010 to July 2011 by the UTC, and for the SEK from October to April 2017. Initially an exploratory data analysis (AED) was carried out, to evaluate the distribution and behavior of the data, later they were processed with the Surfer interpolator package and finally the maps of were made. Spatial distribution of nitrates in the MRC. Were made as a result, it was obtained in the AED that the data presented few outliers and completed with the criterion of the mean were interpolated to obtain the three best interpolators: moving averages, radial basis function and kriging for the two databases that were valued with the mean square error (EMC). It was concluded that through the best interpolators, nitrate data were obtained in the MRC, which were not monitored and to predict their distribution behavior, thus decreasing costs of time and money required for the collection of field information

**Keywords:** Cutuchi River micro basin MRC, interpolation, nitrate, radial bassics.

## INDICE

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
1. INFORMACIÓN GENERAL .....	1
2. INTRODUCCIÓN.....	2
3. JUSTIFICACIÓN.....	2
4. BENEFICIARIOS .....	3
5. PROBLEMÁTICA.....	4
6. OBJETIVOS.....	5
6.1.- Objetivo General: .....	5
6.2.- Objetivos Específicos:.....	5
7. ACTIVIDADES EN RELACIÓN CON LOS OBJETIVOS PLANTEADOS. ....	5
8. FUNDAMENTACIÓN TEÒRICA .....	6
8.1.- Microcuenca del río Cutuchi. ....	6
8.2.- Contaminación de la Microcuenca.....	7
8.2.1.- Agua Residual .....	7
8.3.- Parámetros de Análisis de Calidad de Agua .....	8
8.3.1.- Parámetros físicos .....	8
8.3.2.- Parámetros químicos .....	9
8.3.3.- Parámetros Biológicos.....	11
8.4 Nitratos .....	11
8.4.1.-Fuentes de Contaminación por Nitratos. ....	12
8.4.2.- Como se miden los nitratos .....	14
8.5. Análisis exploratorio de datos (AED) .....	16
8.6. Medidas de Resumen.....	16
8.6.1. Valores atípicos .....	16
8.6.2. Datos asimétricos.....	17
8.6.3. Cuartiles.....	17
8.6.4. Mediana .....	17
8.6.5. Media.....	17

8.6.6. EE de la media .....	18
8.6.7. Asimetría .....	18
8.6.8. Coeficiente de Variación .....	18
8.6.9. Desviación Estándar .....	18
8.7. Método Gráfico Box-Plot .....	18
8.8. Interpolación .....	19
8.8.1.- Interpolación Espacial .....	19
8.9. Geoestadística .....	20
8.9.1. Esquema Metodológico para el Análisis Geo estadístico.....	20
8.10. Kriging.....	21
8.11. Métodos de Interpolación matemática.....	22
8.11.1. Distancia inversa ponderada.....	22
8.11.2. Curvatura mínima.....	22
8.11.3. Método de Sherpad modificado.....	22
8.11.4. Vecino natural.....	22
8.11.5. Vecino más cercano.....	23
8.11.6. Regresión polinomial .....	23
8.11.7. Base radial.....	23
8.11.8. Triangulación con interpolación lineal .....	23
8.11.9. Medias móviles .....	23
8.11.10. Métrica de datos .....	23
8.11.11. Polinomio local .....	24
8.12. El uso de SIG en la calidad del agua.....	24
9.- HIPOTESIS .....	25
9.1.- Hipótesis Alternativa.....	25
9.2.- Hipótesis Nula .....	25
10.- METODOLOGIA (TÉCNICAS, MÉTODOS, INSTRUMENTOS).....	25
10.1.- Área de Estudio .....	25
10.2. Análisis Exploratorio de Datos.....	26
10.3.- Procesamiento con Surfer.....	26
10.4.-Validación del Método.....	27
10.5.- Mapas de Interpolación.....	27
11.- ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	28
11 .1.- ANÁLISIS EXPLORATORIO DE DATOS .....	28
11.1.1. Base de datos UTC .....	29
11.1.2. Gráficos box- plot.....	31
11.1.3. Base de datos SEK.....	32

11.2. PROCESAMIENTO CON SURFER .....	35
11.3. VALIDACIÓN DEL MÉTODO .....	36
11.4. MAPAS DE INTERPOLACIÓN. ....	36
12.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	38
13.- BIBLIOGRAFIA.....	39

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Cuadro de Beneficiarios .....	3
<b>Tabla 2:</b> Actividades en relación con los objetivos planteados .....	5
<b>Tabla 3:</b> Base de datos de nitratos de la UTC .....	29
<b>Tabla 4:</b> Medidas de resumen datos (UTC).....	30
<b>Tabla 5:</b> Base de datos de nitratos de la SEK.....	32
<b>Tabla 6:</b> Medidas de resumen datos (SEK).....	33
<b>Tabla 7:</b> Resultados con los interpoladores de Surfer. ....	35

## INDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1:</b> Diagrama resumen para la implementación del proceso geo-estadístico .....	21
<b>Gráfico 2:</b> Ubicación de los puntos tomados por la base de datos UTC .....	26
<b>Gráfico 3:</b> Histograma UTC .....	31
<b>Gráfico 4:</b> Box-plot de datos de la SEK, variable nitratos en trece puntos de muestreo.....	31
<b>Gráfico 5:</b> Histograma SEK.....	33
<b>Gráfico 6:</b> Box-plot de datos de la SEK, variable nitratos en tres puntos de muestreo .....	34
<b>Gráfico 7:</b> Box-plot de datos de la SEK sin considerer outliers, variable nitratos en tres puntos de muestreo .....	34
<b>Gráfico 8:</b> Interpolación de puntos correspondientes a la base de datos UTC para el parámetro nitratos. ....	37



## **INDICE DE ANEXOS**

<b>Anexo 1:</b> Hoja de vida del estudiante. ....	43
<b>Anexo 2:</b> Microcuenca del río Cutuchi .....	44
<b>Anexo 3:</b> Puntos de muestreo del río Cutuchi.....	45
<b>Anexo 4:</b> Medidas de resumen base de datos UTC.....	45
<b>Anexo 5:</b> Base de datos SEK .....	46
<b>Anexo 6:</b> Histograma realizado en el software ArcGIS.....	46
<b>Anexo 7:</b> QQ-PLOT realizado en el software ArcGIS .....	46
<b>Anexo 8:</b> Trend Analyst realizado en el software ArcGIS .....	47
<b>Anexo 9:</b> Semivariograma realizado en el software ArcGIS .....	47

## **1. INFORMACIÓN GENERAL**

**Título del Proyecto:**

“VARIACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE NITRATOS 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: MSc. Kalina Fonseca

- ✓ Lector 1: 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 Microcuenca del río Cutuchi (MRC) es de gran importancia para la provincia de Cotopaxi por ser la única fuente de suministro de agua para los cantones cercanos y para el sector agroecológico del país. Debido a los impactos que existen por la presencia de nitratos, es indispensable realizar monitoreos de agua para evaluar e identificar las fuentes de contaminación.

Los muestreos que se realizan para evaluar calidad de agua llevan consigo tiempo y dinero, y por lo mismo un constante monitoreo en todo el espacio físico que abarca la Cuenca del río Cutuchi. Con la utilización de programas de interpolación matemática y geoestadística se puede evaluar la variabilidad de espacio temporal de nitratos. (Alexandra, 2011).

El monitoreo y la evaluación periódica de la calidad de agua a través de métodos exactos y confiables tiene como objeto identificar la contaminación, eutrofización o cambios en el ecosistema, la MRC; abastece a varios sectores de esta provincia, es por eso que es importante investigar estrategias de manejo adecuadas mediante análisis de calidad del agua (ICA) con diferentes parámetros.

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. (Alvarado, 2002). Sin embargo, el kriging ordinario (OK), la ponderación de distancia inversa (IDW), incluida la distancia inversa cuadrada (IDS) y el cokriging ordinario (OCK) son los métodos más frecuentemente aplicados. (Chavez, 2013)

## **3. JUSTIFICACIÓN**

La presente investigación se realizó con la finalidad de conocer la distribución espacial de la concentración de nitratos a lo largo de la microcuenca del río Cutuchi, mediante la utilización de la interpolación matemática y la geoestadística. La Microcuenca del Cutuchi (MRC) es la fuente de suministro de agua para los cantones cercanos y de gran importancia para el sector agroecológico del país (Fernández, 2003).

Una de las variables más importantes para estudiar la contaminación de las aguas superficiales es la concentración de nitratos, presente en aguas tanto superficiales como subterráneas; los

problemas de contaminación pueden ser muy diversos asociados principalmente a las actividades agrícolas, ganaderas y a ciertas actividades industriales. (Aragoneses, 2002)

Los nitratos entran en el medio ambiente como contaminación inducida por el ser humano de una varias fuentes, sin embargo la mayor fuente de nitratos, proviene de la escorrentía de fertilizantes agrícolas, el nitrato es muy soluble en agua, por lo que es fácilmente transportada desde el suelo a las aguas subterráneas y naturales, esta capacidad ha generado preocupación por los efectos que tienen los nitratos en la salud humana. (MAE, 2016)

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

Es por ello que se ha optado por trabajar con las técnicas de interpolación matemática y geo estadística las mismas que facilitarían la obtención de datos puntuales donde existe contaminación de varios indicadores de la calidad del agua, un método alternativo que ayudaría a optimizar los monitoreos constantes de campo y así mismo costosos (Albert & SIABATO, 2002)

#### 4. BENEFICIARIOS

**Tabla 1:** Cuadro de Beneficiarios

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

Fuente: (Barba, 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. Según la Organización Mundial de la Salud 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. La contaminación por nitratos está dada principalmente por la escorrentía de los fertilizantes a los cultivos agrícolas. El agua procede de ríos, lagos, quebradas los mismos que son objetos de una severa contaminación, muchas veces producto de las actividades del ser humano.

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 (ARIAS, 2011).

El Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE) se ha comprometido a evaluar la contaminación del río Cutuchi estableciendo un plan de trabajo encaminado al cumplimiento de esta intervención, por ello desde marzo del 2012 se ejecuta un proceso de seguimiento y control que consiste en inspecciones de las actividades productivas, verificaciones de licenciamiento ambiental.

Para agilizar el progreso del compromiso se ha dividido el trabajo en dos grupos de control: descargas directas (32 empresas) e indirectas (82 empresas), cabe resaltar que la mayor fuente de contaminación del río Cutuchi son las descargas del sistema de alcantarillado sanitario que provienen de la ciudad de Latacunga y representan el 80% de la contaminación, mientras las descargas del sector industrial equivalen al 20%. Asimismo, el MAE, en coordinación con los diferentes GADs Municipales que se encuentran en el área de la microcuenca del río Cutuchi trabaja en fortalecer los sistemas de control municipal, uso de suelos y permisos de construcción, entre otras (MAE, 2016).

Las aguas del Cutuchi están altamente contaminadas ya que la Provincia de Cotopaxi recibe efluentes de aguas servidas, fábricas, establos, hospitales, mataderos, entre otros, sin ningún tratamiento previo, el problema de la contaminación se agrava en dicho momento ya que recibe un volumen diario de 30.000 m<sup>3</sup> de aguas servidas de uso doméstico, aguas residuales

de algunas fábricas de alimentos, entre estas lecheras y cárnicas; del Hospital General, del Hospital del seguro social, camal municipal a más de la contaminación por actividades agrícolas.

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

## 6. OBJETIVOS

### 6.1.- Objetivo General:

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

### 6.2.- Objetivos Específicos:

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

## 7. ACTIVIDADES 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 muy alta en su distribución, sus valores eran asimétricos.	Se optó por clasificar a la base de datos de la UTC en época de acuerdo a los meses, 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	Ingresar los datos previos analizados en el software Surfer para obtener el mejor interpolador con menor	Se obtuvo los tres mejores interpoladores para las dos bases de datos que fueron: Regresión polinómica,	El resultado de las interpolaciones con Surfer fue valorado con el Error Medio Cuadrático (EMC) que

desempeño.	error.	Base Radial y Kriging a pesar de que los valores son muy altos y no son aceptables.	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 los mapas de distribución espacial de nitratos en la MRC.	Efectuar la interpolación en el software ArcGIS con Kriging que resulta ser el mejor interpolador para las dos bases de datos.	Se obtuvo los mapas de la distribución espacial de la concentración de nitratos en la MRC.	Se interpretó los mapas de acuerdo a los sitios muestreados para identificar que foco contaminante existe en cada punto.

---

Fuente: (Barba, 2018)

## 8. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

### 8.1.- Microcuenca del río Cutuchi.

El río Cutuchi presenta una contaminación en sus aguas, el mismo que cobra importancia por cubrir a los regantes de dos provincias y porque sus productos son los que encuentran en el mesa de las familias ecuatorianas de esos sectores (Benayas, 1989). La contaminación tiene también lugar por el incremento de la concentración de nitratos en las aguas, el nitrato, junto a elementos nutritivos como el fósforo, favorecen el crecimiento excesivo de las plantas acuáticas, que al descomponerse consumen el oxígeno disuelto en el agua provocando la muerte de fauna acuática. (Cortes, 1993).

La conformación orográfica de la cordillera Occidental, al costado oeste de la cuenca, es determinante para que estas masas de aire no tengan una influencia tan marcada en la precipitación y clima de la zona. Es así que la subcuenca del Cutuchi, y los ríos, Pumacunchí, Cunuyacu, Yanayacu y demás afluentes son parte del sistema hidrográfico mayor de la cuenca del Pastaza; está bordeada al oeste y este por las primeras elevaciones de la Cordillera Occidental y Cordillera Oriental del Ecuador respectivamente; las aguas de ésta cuenca son vertidas al Oriente Ecuatoriano. (Crites, 2000). Cubre un gran porcentaje de la provincia de Cotopaxi y parte de la provincia de Tungurahua. Siendo los datos registrados demuestran que más del 70% del agua presenta mala calidad y solo un 10% tiene excelente calidad y, que se ubica en las nacientes o inicio de las fuentes, ya que a medida que el agua circula a los sectores inferiores de la cuenca, se contamina progresivamente.

Desde hace algunos años se ha convertido en un lugar muy interesante para la instalación de industrias, debido a la cercanía con la capital del país, lo que ha generado una fuente adicional

de trabajo. Pero no más importante que la anterior. La calidad de los cursos de aguas se ha ido perdiendo a medida que las industrias empezaron a trabajar, afectando las otras actividades. La zona de Lasso presenta una buena calidad de tierras y un río muy importante que sirven para la cría del ganado y para el riego de cultivos de la región de la Cuenca del Cutuchi. Especialmente de cultivos para exportación, como flores, brócoli, etc.

## **8.2.- Contaminación de la Microcuenca**

La contaminación del agua se produce a través de la introducción directa o indirecta en los cauces o acuíferos de sustancias sólidas, líquidas y gaseosas. Esta contaminación es causante de daños en los organismos vivos del medio acuático y representa, además, un peligro para la salud de las personas y de los animales. Existen dos formas a través de las cuales se puede contaminar el agua. Una de ellas es por medio de contaminantes naturales, por ejemplo, sustancias minerales y orgánicas disueltas o en suspensión, tales como arsénico, cadmio, bacterias, arcillas, materias orgánicas, etc. Otra forma es a través de los contaminantes generados por el hombre o de origen humano, y son producto de los desechos líquidos y sólidos que se vierten directa o indirectamente en el agua. (Lopez, 2011).

### **8.2.1.- Agua Residual**

Las aguas residuales pueden definirse como las aguas que provienen del sistema de abastecimiento de agua de una población, después de haber sido modificadas por diversos usos en actividades domésticas, industriales y comunitarias, siendo recogidas por la red de alcantarillado que las conducirá hacia un destino apropiado (Mara, 2014).

Las aguas residuales urbanas no alcanzan, el nivel que deberían tener para compensar la diferencia que existe con la capacidad depuradora de los ríos. Las aguas residuales de las urbes, sin residuos industriales, provocan una perturbación que se manifiesta principalmente por la disminución del oxígeno disuelto debido a la materia orgánica que agregan. Estas se originan mediante el aporte de desechos humanos y animales, residuos domésticos, de restos vegetales, de aguas de lluvia, aguas de lavado y otros; las aguas residuales producen una serie de alteraciones en los cursos y planos de agua debido a los diversos productos que contienen, y a que las áreas receptoras son cada vez menos capaces de asimilar (Seoanez, 2012).



La expansión urbana y el aumento del consumo hídrico consecuente, han provocado un crecimiento proporcional de las aguas residuales generadas. Entre un 70 y 80% de las aguas recibidas a nivel domiciliario se transforman en residuales vertiéndose en las redes de saneamiento, si las hay, o en drenajes de diverso tipo, para terminar engrosando los cuerpos de agua naturales. Del mismo modo, las aguas utilizadas por la industria, ya sea para ser consumidas en los procesos industriales, en el enfriado o en la limpieza, también se vierten en las redes y canales de desagüe, culminando su itinerario en ríos, lagos y mares.

### **8.3.- Parámetros de Análisis de Calidad de Agua**

#### **8.3.1.- Parámetros físicos**

- ✓ **Color:** Es el resultado de la presencia de materiales de origen vegetal tales como ácidos húmicos, turba, plancton, y de ciertos metales como hierro, manganeso, cobre y cromo, disueltos o en suspensión. Constituye un aspecto importante en términos de consideraciones estéticas. Los efectos del color en la vida acuática se centran principalmente en aquellos derivados de la disminución de la transparencia, es decir que, además de entorpecer la visión de los peces, provoca un efecto barrera a la luz solar, traducido en la reducción de los procesos fotosintéticos en el fitoplancton así como una restricción de la zona de crecimiento de las plantas acuáticas.
  
- ✓ **Olor:** Es debido a cloro, fenoles, ácido sulfhídrico, etc. La percepción del olor no constituye una medida, sino una apreciación, y ésta tiene, por lo tanto, un carácter subjetivo. El olor raramente es indicativo de la presencia de sustancias peligrosas en el agua, pero sí puede indicar la existencia de una elevada actividad biológica. Por ello, en el caso de aguas potable, no debería apreciarse olor alguno, no sólo en el momento de tomar la muestra sino a posterior (10 días en recipiente cerrado y a 20°C).
  
- ✓ **Turbidez:** Es una medida de la dispersión de la luz por el agua como consecuencia de la presencia en la misma de materiales suspendidos coloidales y/o particulados. La presencia de materia suspendida en el agua puede indicar un cambio en su calidad (por ejemplo, contaminación por microorganismos) y/o la presencia de sustancias inorgánicas finamente divididas (arena, fango, arcilla) o de materiales orgánicos. La turbidez es un factor ambiental importante en las aguas naturales, y afecta al

ecosistema ya que la actividad fotosintética depende en gran medida de la penetración de la luz. Las aguas turbias tienen, por supuesto, una actividad fotosintética más débil, lo que afecta a la producción de fitoplancton y también a la dinámica del sistema. La turbidez del agua interfiere con usos recreativos y el aspecto estético del agua.

- ✓ **Sólidos en suspensión:** Comprenden a todas aquellas sustancias que están suspendidas en el seno del agua y no decantan de forma natural.
- ✓ **Sólidos totales:** Analíticamente, se define el contenido de sólidos totales como la materia que se obtiene como residuo después de someter al agua a un proceso de evaporación entre 103 y 105 °C. No se define como sólida aquella materia que se pierde durante la evaporación debido a su alta presión de vapor. Los sólidos sedimentables se definen como aquellos que se sedimentan en el fondo de un recipiente de forma cónica (cono de Imhoff) en el transcurso de un periodo de 60 minutos, los sólidos sedimentables expresados en unidades de ml/l, constituyen una medida aproximada de la cantidad de fango que se obtendrá en la decantación primaria del agua residual.
- ✓ **Temperatura:** La temperatura de las aguas residuales y de masas de agua receptora es importante a causa de sus efectos sobre la solubilidad del oxígeno y, en consecuencia, sobre las velocidades en el metabolismo, difusión y reacciones químicas y bioquímicas.

### 7.3.2.- Parámetros químicos

- ✓ **pH:** La medida del pH tiene amplia aplicación en el campo de las aguas naturales y residuales. Es una propiedad básica e importante que afecta a muchas reacciones químicas y biológicas. El pH es un factor muy importante en los sistemas químicos y biológicos de las aguas naturales. El valor del pH compatible con la vida piscícola está comprendido entre 5 y 9. Sin embargo, para la mayoría de las especies acuáticas, la zona de pH favorable se sitúa entre 6.0 y 7.2. Fuera de este rango no es posible la vida como consecuencia de la desnaturalización de las proteínas.

- ✓ **Materia orgánica:** La materia orgánica existente en el agua, tanto la que se encuentra disuelta como en forma de partículas, se valora mediante el parámetro carbono orgánico total. Los compuestos orgánicos existentes en el medio acuático se pueden clasificar en dos grandes grupos atendiendo a su biodegradabilidad, es decir, a la posibilidad de ser utilizados por microorganismos como fuente de alimentación y para su medida se utilizan los parámetros denominados DQO (Demanda Química de Oxígeno) y DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno), que exponemos a continuación.
  
- ✓ **Demanda química de oxígeno DQO:** Es la cantidad de oxígeno consumido por los cuerpos reductores presentes en el agua sin la intervención de los organismos vivos. Efectúa la determinación del contenido total de materia orgánica oxidable, sea biodegradable o no.
  
- ✓ **Demanda bioquímica de oxígeno DBO:** Permite determinar la materia orgánica biodegradable. Es la cantidad de oxígeno necesaria para descomponer la materia orgánica presente, por la acción bioquímica aerobia. Esta transformación biológica precisa un tiempo superior a los 20 días, por lo que se ha aceptado, como norma, realizar una incubación durante 5 días, a 20°C, en la oscuridad y fuera del contacto del aire, a un pH de 7-7.5 y en presencia de nutrientes y oligoelementos.
  
- ✓ **Oxígeno disuelto:** Es necesario para la vida de los peces y otros organismos acuáticos. El oxígeno es moderadamente soluble en agua, dependiendo la solubilidad de la temperatura, la salinidad, la turbulencia del agua y la presión atmosférica: disminuye cuando aumenta la temperatura y la salinidad, y cuando disminuye la presión atmosférica.
  
- ✓ **Aceites y grasas:** En este grupo se incluyen los aceites y las grasas que se encuentren en estado libre, ya sean de origen animal, vegetal o mineral, destacando entre estos últimos por su especial importancia los derivados del petróleo. La mayoría de estos productos son insolubles en el agua, pero pueden existir en forma emulsionada o saponificada. Según su mezcla con los hidrocarburos, dan un aspecto irisado al agua, así como un sabor y un olor particulares.

- ✓ **Detergentes:** Como detergentes se designan a las sustancias que poseen unas importantes propiedades limpiadoras. Se trata de productos complejos constituidos por uno o varios agentes surfactantes, compuestos minerales (carbonatos, fosfatos, polifosfatos, perboratos), frecuentemente asociados a materias orgánicas mejorantes, a enzimas y a secuestrantes. De todos ellos, los más característicos son los surfactantes, productos químicos orgánicos que reducen la tensión superficial del agua y de otros líquidos.

### **8.3.3.- Parámetros Biológicos**

Cuantifican la cantidad y el tipo de microorganismos que habitan las aguas. El agua potable no debería contener ningún microorganismo patógeno. *Escherichia coli* es una bacteria indicador de la contaminación por aguas fecales. Midiendo una serie de parámetros en cultivos (color, gases desprendidos, etc.) podemos hacer una estimación del número de microorganismos presentes. También se utilizan organismos superiores como bioindicadores indirectos: larvas de insectos, peces, etc.

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.

### **8.4 Nitratos**

Los nitratos son iones que no tienen color ni sabor y se encuentran en la naturaleza disueltos en el agua. Su presencia natural en las aguas superficiales o subterráneas es consecuencia del ciclo natural del nitrógeno, sin embargo, en determinadas zonas ha habido una alteración de este ciclo en el sentido de que se ha producido un aumento en la concentración de nitratos, debido fundamentalmente a un excesivo uso de abonos nitrogenados y a su posterior arrastre por las aguas de lluvia o riegos. (AQUALOGY, 2008)

Actualmente según el texto unificado de legislación secundaria del ministerio del ambiente (TULSMA) el nivel máximo permitido de nitratos en aguas potables es de 10 mg/, los nitratos pueden ser producidos tanto por fuentes naturales como antropogénicas, siendo estas últimas

las responsables del importante aumento en su concentración observado en los últimos años. Así, los residuos industriales constituyen una fuente importante de nitratos en las aguas, siendo las industrias más contaminantes los mataderos, destilerías, azucareras, industrias de levadura, de almidón, textiles y fertilizantes. Sin embargo, estas emisiones suelen estar bastante controladas y son muy puntuales.

Más preocupante es, en la actualidad, la contaminación por nitratos provenientes de la agricultura y ganadería intensiva. En las zonas donde se practica una agricultura intensiva se utilizan enormes cantidades de abonos químicos, a los que se suman los abonos naturales que provienen de los excrementos animales. Los nitratos, son importantes factores que degradan la calidad del agua; pérdidas de nitratos desde áreas agrícolas son mayores que las ocurridas en ecosistemas naturales. Estos abonos suelen contener una cantidad importante de compuestos nitrogenados, como los nitratos, que en proporciones adecuadas mejoran el crecimiento de las plantaciones y aumentan su rendimiento. Sin embargo, cuando estos compuestos se encuentran en cantidades demasiado altas para que sean absorbidos por las plantas, se infiltran a través del suelo y alcanzan las aguas subterráneas. (AQUALOGY, 2008).

El predominio de los nitratos indica que el residuo se ha estabilizado con respecto a su demanda de oxígeno. Los nitratos, sin embargo, utilizados por las algas y otros organismos acuáticos para formar proteínas y, por ello, puede necesitarse la remoción del nitrógeno para prevenir dichos crecimientos. En los intestinos humanos el nitrato es reducido a nitrito, absorbido por el torrente sanguíneo y causante de la metahemoglobinemia infantil o de la formación de nitrosaminas, las cuales son cancerígenas. (Hedi, 2002)

#### **8.4.1.-Fuentes de Contaminación por Nitratos.**

##### **✓ Nitratos en plantas**

Las plantas usan nitratos en combinación con ácidos orgánicos para la producción de proteínas. Las plantas jóvenes generalmente contienen más nitratos que las maduras. Una deficiencia de estos puede provocar un desequilibrio en la ingesta de nutrientes y un crecimiento anormal o raquítrico de la planta. (Alvarez, 2009).

### ✓ **Fertilizantes**

La producción agrícola depende en gran medida de que los suelos sean capaces de desarrollar cultivos con un buen rendimiento y esa capacidad es establecida por su fertilidad. El contenido de nutrientes de origen natural en los suelos, generalmente no es suficiente para lograr una fertilizantes naturales orgánicos y químicos. El nitrógeno es un nutriente vital para las plantas, quienes lo utilizan en la síntesis de proteínas para su crecimiento.

### ✓ **Peligro de los nitratos**

Demasiados nitratos en cultivos para forraje podrían resultar en niveles tóxicos afectando al ganado, a los caballos y a la vida salvaje. La adición de un fertilizante con fosfato en realidad reduce el contenido de nitrato en estos cultivos. (Alvarez, 2009)

Son obtenidos a partir de aguas de desecho descargadas directamente y de sistemas sépticos en mal funcionamiento. Estos muchas veces son colocados junto a pozos de agua, pudiendo contaminar el agua con nitratos, los cuales en niveles altos pueden ocasionar una condición llamada metahemoglobinemia. También se han encontrado altos niveles de nitratos en aguas subterráneas debajo de las tierras de cultivo, en las cuales el uso excesivo de fertilizantes pareciera ser la causa, especialmente en áreas de alta irrigación con suelos arenosos (Mitchell, 2013)

La metahemoglobinemia o síndrome del bebé azul puede ser producido por varias razones, en este caso citaremos la relación del síndrome y la contaminación por nitratos, producto del consumo del agua contaminada con nitratos, posiblemente provenientes del abono que se realiza en los campos de cultivo u otros productos químicos vertidos por la industria, un bebé que consume este tipo de agua puede sufrir el síndrome del bebé azul. La imposibilidad de transportar el oxígeno por la hemoglobina provoca que la piel del bebé adquiera una tonalidad azul y posteriormente, si no se trata adecuadamente, puede causarle la muerte (Ellenhorn & Matthew, 2011).

#### **8.4.2.- Como se miden los nitratos**

##### **Método Espectrométrico Ultravioleta Selectivo.**

Esta técnica solamente se utiliza para seleccionar muestras con bajo contenido en materia orgánica (aguas naturales incontaminadas y suministros de agua potable). Las medidas de absorbancia UV a 220 nm permiten la determinación de nitratos que son absorbentes a esta longitud de onda. Debido a que las materias orgánicas también pueden absorber a esta longitud de onda debemos hacer una segunda lectura a 275 nm para obtener la medida relativa sólo a nitratos.

##### **Instrumentos:**

- ✓ Espectrofotómetro para uso a 220 nm y 275 nm.
- ✓ Cubetas de sílice iguales, de 1cm de recorrido de luz o más

##### **Reactivos:**

- ✓ Agua destilada o desionizada de máxima pureza para soluciones y disoluciones.
- ✓ Solución madre de nitrato, para la cual se deberá secar nitrato potásico  $\text{KNO}_3$  en un horno a  $105^\circ\text{C}/24$  horas, disolver 0,7218 gramos en agua con balanza analítica y diluir a 1.000 mL (1mL = 100 mg  $\text{NO}_3^-$  -N).
- ✓ Solución intermedia de nitratos. Diluir 100 mL de solución madre de nitrato a 1.000 mL con agua (1,00 mL =10,0mg  $\text{NO}_3^-$  -N).
- ✓ Solución de ácido clorhídrico HCl 1N.

##### **Procedimiento:**

###### **Tratamiento de la muestra:**

- ✓ Sobre 50 mL de muestra transparente, filtrada si fuera preciso, añadir 1mL de solución de HCl y homogeneizar.

###### **Preparación de la curva de patrones:**

- ✓ Se han de preparar estándares de calibrado de nitrato en el rango de 0 a 7 mL  $\text{NO}_3^-$  - N/l por dilución a 50 mL de los siguiente volumen de solución intermedia de nitrato. Se han de tratar los patrones de  $\text{NO}_3^-$  del mismo modo que las muestras.

##### **Medida espectrofotométrica:**

- ✓ Leer la absorbancia frente al agua destilada, con la que previamente se ha ajustado a absorbancia 0. Para esta determinación se utilizará la longitud de onda de 220 nm para obtener la lectura de  $\text{NO}_3^-$  y 275nm para determinar la interferencia.

#### **Expresión de resultados:**

- ✓ Para muestras y patrones debemos restar 2 veces la absorbancia leída a 275nm de la lectura a 220nm para obtener la absorbancia debida a los  $\text{NO}_3$  y construir la curva de calibrado de la cual se obtiene la concentración de la muestra. Detergentes, nitritos y  $\text{Cr}^{6+}$  pueden provocar distorsiones en las medidas.

#### **Método del Electrodo de Nitrato.**

El electrodo del ion  $\text{NO}_3$  es un sensor selectivo que desarrolla un potencial a través de una membrana delgada, porosa e inerte que se mantiene en posición en un intercambiador iónico en un líquido inmiscible con agua. El electrodo responde a la actividad del ion nitrato entre aproximadamente  $10^{-5}$  y  $10^{-1}$  M. El límite inferior de detección está determinado por la solubilidad escasa pero finita del cambiador iónico líquido.

#### **Instrumentos:**

- ✓ pH metro con escala de mV.
- ✓ Electrodo selectivo de nitratos.
- ✓ Electrodo estándar de referencia de doble unión.
- ✓ Agitador magnético e imanes recubiertos de teflón.
- ✓ Cronómetro.

#### **Reactivos:**

- ✓ Agua exenta de nitrato. Preparar como se describe en el método anterior.
- ✓ Solución madre de nitrato. Preparar como se describe en el método anterior.
- ✓ Solución patrón de nitrato: dilúyase 1,0, 10 y 50 mL de solución madre de nitrato a 100 mL con agua, para obtener las soluciones patrón de 1,0, 10 y 50 mg de  $\text{NO}_3 - \text{N}$  / L, respectivamente.
- ✓ Solución tampón. Disuélvanse 17,32 g de  $\text{Al}_2 (\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ , 3,43 g de  $\text{Ag}_2 \text{SO}_4$  1,28 g de  $\text{H}_3\text{BO}_3$  y 2,52 g de ácido sulfámico ( $\text{H}_2 \text{NSO}_3 \text{H}$ ) en unos 800 mL de agua. Ajustese a pH 3,0 por adición lenta de  $\text{NaOH}$  0,10N. Diluir a 1.000 mL y conservar en frascos de vidrio oscuro.
- ✓ Hidróxido de sodio  $\text{NaOH}$  0,1N



- ✓ Solución de llenado del electrodo de referencia: disuélvase 0,53 g de  $(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4$  en agua y dilúyase a 1.000 mL.

### **Procedimiento:**

#### **Preparación de la curva de calibrado:**

- ✓ Transferir 10 mL o 1 mg de patrón de nitrato N/L a un vaso de 50 mL añadir 10 mL de tampón y agitar con el agitador magnético, sumergir los extremos de los electrodos para registrar la lectura en mV cuando se estabilice (en 1 minuto aproximadamente) sacar los electrodos, lavarlos y secarlos. Repetir esta operación con los patrones de 10 mg y 50 mg. Se comparan las medidas de potencial con las concentraciones de nitrato N sobre papel semilogarítmico, con las concentraciones en el eje logarítmico (abscisa) y el potencial (en milivoltio) en el eje lineal (ordenada). Debe resultar una línea recta con una pendiente de  $+ 57 \pm 3 \text{ mV}$  a  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ . Vuélvase a calibrar los electrodos varias veces al día comprobando la lectura de potencial del patrón de 10 mg de nitrato N y ajustando el control de calibrado hasta que muestre de nuevo la lectura de la curva de calibrado.

#### **Medición de la muestra:**

- ✓ Transferir 10 mL de muestra a un vaso de 50 mL, añadir 10 mL de solución tampón y agítese (1 minuto aproximadamente) con agitador magnético. Medir los patrones y las muestras a la misma temperatura, introducir los extremos de los electrodos en la muestra y registrar la lectura de potencial cuando se estabilice leer la concentración a partir de la curva de calibrado.

### **8.5. 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 o outliers, saltos o discontinuidades, concentraciones de valores, forma de la distribución, etc. (Cressie, 1990).

### **8.6. Medidas de Resumen**

#### **8.6.1. Valores atípicos**

Los valores atípicos son valores con datos que están muy distantes de los valores que en su mayoría están dentro del rango, estos valores pueden afectar considerablemente los resultados del análisis. Con frecuencia, es fácil identificar los valores atípicos mediante un gráfico de caja.

### **8.6.2. Datos asimétricos**

Se conoce como datos asimétricos cuando estos se ubican en la parte superior o inferior de la gráfica, esta grafica de valores con datos asimétricos hacia la derecha muestra tiempos de espera mientras que la gráfica con datos hacia la izquierda muestra datos de tiempo de falla.

### **8.6.3. Cuartiles**

Los cuartiles son valores que dividen una muestra de datos en cuatro partes iguales. Utilizando cuartiles puede evaluar rápidamente la dispersión y la tendencia central de un conjunto de datos, que son los pasos iniciales importantes para comprender sus datos. El cuartil 1 representa el 25% de los datos es menor que o igual a este valor y el cuartil 3 el 75% de los datos es menor que o igual a este valor. (Dinov, 2013)

### **8.6.4. Mediana**

La mediana es el punto medio del conjunto de datos. El valor de este punto medio es el punto en el cual la mitad de las observaciones está por encima del valor y la otra mitad está por debajo del valor. Tanto la mediana como la media miden la tendencia central. Sin embargo, valores poco comunes, llamados valores atípicos, pueden afectar a la mediana menos de lo que afectan a la media. Si los datos son simétricos, la media y la mediana son similares. (Batista- Legra, 2013)

### **8.6.5. Media**

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

### **8.6.6. EE de la media**

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

### **8.6.7. Asimetría**

La asimetría es el grado en que los datos no son simétricos. A medida que los datos se vuelven más simétricos, el valor de su asimetría se acerca a cero.

### **8.6.8. Coeficiente de Variación**

El coeficiente de variación es una medida de dispersión que describe la variación en los datos en relación con la media. El coeficiente de variación se ajusta de manera que los valores estén en una escala sin unidades. Gracias a este ajuste, usted puede utilizar el coeficiente de variación en lugar de la desviación estándar para comparar la variación de los datos que tienen unidades diferentes o medias muy diferentes. Mientras mayor sea el coeficiente de variación, mayor será la dispersión en los datos. (Belete, 2015)

### **8.6.9. Desviación Estándar**

La desviación estándar es la medida de dispersión más común, que indica qué tan dispersos están los datos alrededor de la media, determina qué tan dispersos están los datos con respecto a la media, un valor de desviación estándar más alto indica una mayor dispersión de los datos. (Morillo- Barragán, 2012)

## **8.7. Método Gráfico Box-Plot**

El gráfico de caja (“box-plot” en inglés) es una forma de presentación estadística destinada, fundamentalmente, a resaltar aspectos de la distribución de las observaciones en una o más series de datos cuantitativos. Permiten conocer cómo se distribuyen los datos dentro de una variable. A diferencia de los histogramas que requieren un tamaño de muestra de al menos 30 casos para ser útiles, los gráficos de caja pueden ser construidos con tan solo 5 casos y aportan más detalles acerca de las colas de la distribución.

Los diagramas de caja son especialmente útiles cuando la distribución de una variable es asimétrica o se aleja de la distribución normal. En este tipo de casos interpretar una variable en función de su media o desviación estándar es un error puesto que estos estimadores no describen fielmente las características de nuestra muestra. En algunas ocasiones, cuando la muestra es lo suficientemente grande, se dibujan unas muescas dentro de los cuadrados que representan los intervalos de confianza al 95% para la mediana. Con estas muescas podemos evaluar si las diferencias entre dos variables son significativas si las muescas no se superponen entre ambas variables. (David, 2012)

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. (Dinov, 2013)

## **8.8. Interpolación**

La idea de la interpolación es poder estimar un valor para un dato arbitrario, a partir de la construcción de una curva o superficie que une los puntos donde se han realizado mediciones y cuyo valor si se conoce. Se asume que el punto arbitrario se encuentra dentro de los límites de los puntos de medición. (Belete, 2015)

### **8.8.1.- Interpolación Espacial.**

La Interpolación es un proceso que permite modelar variables espaciales, predecir su comportamiento, determinar radios de influencia y tiempos de duración de un fenómeno. También resuelve problemas de decisión frente a procesos que se ven afectados por el comportamiento de ciertas variables, y en general, para proveer información ya sea sobre el presente o un futuro probable. (Johnston, 2010)

La estimación de valores desconocidos a partir de una muestra mediante técnicas de interpolación se practica constantemente en muchas áreas de la ciencia, y de hecho con frecuencia son inseparables de los procesos realizados en el arte de la investigación, en especial los relacionados con las ciencias de la tierra.

La interpolación espacial es el procedimiento que se utiliza para estimar valores de una o más variables en lugares donde no existe o no se conoce información a partir de mediciones en puntos ubicados en la misma área o región (Gordon S, 2013).

## **8.9. Geoestadística**

La geo estadística por su parte, en su análisis utiliza métodos exploratorios y de interpolación, estos métodos requieren un conocimiento básico estadístico, pues cuando hay variación irregular en los datos, la muestra es representativa o la interpolación simple arroja resultados incoherentes con la realidad, los métodos geo estadísticos proporcionan estimaciones probabilísticas de la calidad de la interpolación, paralelamente, proporcionan una herramienta ( semivariogramas) que permiten explorar y obtener una mejor comprensión de los datos, además se tiene el control para crear las mejores estimaciones basadas en la información disponible, permitiendo la toma de decisiones óptimas. (Gordon S, 2013).

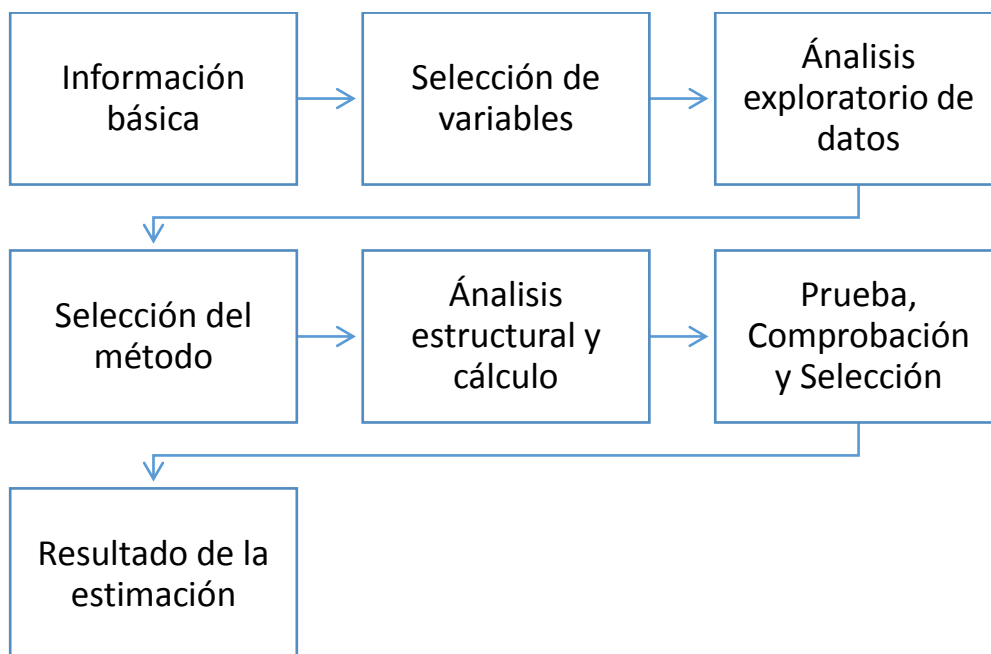
La geo estadística es una técnica estadística usada para la estimación, predicción y simulación de datos correlacionados espacialmente, que se ha conocido como el arte de modelar datos espaciales, como técnica de predicción hace parte de la interpolación espacial, por eso es importante el entendimiento de esta para poder comprender la esencia del modelo geo estadístico, que en su desarrollo ha planteado una fundamentación teórica, una primera aproximación al esquema metodológico para la implementación de cualquier modelo geo estadístico a geo ciencias y la incorporación del modelo geo estadístico al proyecto de investigación. Su importancia radica en que permite describir la continuidad espacial de las variables y estimar valores muy cercanos a los reales en puntos desconocidos. (Giraldo, 2012)

### **8.9.1. Esquema Metodológico para el Análisis Geo estadístico.**

En general, para realizar un buen análisis geo estadístico se debe realizar un proceso iterativo para obtener óptimos resultados, para realizar este tipo de análisis se cuenta con modelos estadísticos que incluyen auto-correlación y permiten realizar estimaciones de fenómenos. Se asume que antes de hacer un análisis geo estadístico o cualquier otro tipo de análisis se ha definido el problema o el fenómeno que se espera investigar; se debe tener claro cuáles son

los puntos muestreados con los que se cuenta, puesto que son la base para realizar la estimación.

**Gráfico 1:** Diagrama resumen para la implementación del proceso geo-estadístico



Fuente: (Barba, 2018)

### 8.10. Kriging

Hay una segunda familia de métodos de interpolación que consta de métodos geoestadísticos, como kriging, que está basado en modelos estadísticos que incluyen la auto correlación, es decir, las relaciones estadísticas entre los puntos medidos. Kriging es uno de los más complejos y potentes métodos de interpolación es un procedimiento probabilístico-geoestadística que permite generar una superficie estimada a partir de un conjunto de puntos (con valores específicos) dispersados. Este método mide las distancias entre todos los posibles pares de puntos de la muestra y usa esta información para modelar la correlación espacial para la superficie particular que se está interpolando. (Moral García, 2004).

## **8.11. Métodos de Interpolación matemática.**

### **8.11.1. Distancia inversa ponderada**

También conocido como IDW por sus siglas en inglés. Este método supone que la influencia que ejerce el valor observado disminuye a medida que aumenta la distancia entre el punto “real” y el estimado. El método IDW permite aumentar o disminuir la influencia que tienen las observaciones de la muestra de datos sobre los valores interpolados. Potencias mayores se reflejan en valores interpolados más localizados y menos promediados; sin embargo, la influencia de los puntos decae rápidamente en función de la distancia. Una de las principales ventajas del método es que permite establecer líneas de quiebre, de manera que prohíbe que se interpolen puntos separados por algún obstáculo que no se encuentra totalmente reflejado en los datos de entrada al modelo. Este método es común para interpolar profundidad y contaminación del agua subterránea. (González, 2011).

### **8.11.2. Curvatura mínima**

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

### **8.11.3. Método de Shepard modificado.**

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

### **8.11.4. Vecino natural.**

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

#### **8.11.5. Vecino más cercano.**

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

#### **8.11.6. Regresión polinomial**

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

#### **8.11.7. Base radial**

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, Cowan, & Grant., 1991).

#### **8.11.8. Triangulación con interpolación lineal**

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

#### **8.11.9. Medias móviles**

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

#### **8.11.10. Métrica de datos**

La métrica de datos es un método que se basa en la creación de grillas de información de datos observados. Se definen conjuntos de datos asociados a la grilla y sobre ellos se realiza la



búsqueda de parámetros estadísticos (desviación estándar, varianza y coeficiente de variación) aplicada a cada nodo y al conjunto de datos asociados para luego usarlos en la estimación. (Yang, Kao, Lee & Hung, 2004).

#### **8.11.11. Polinomio local**

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

### **8.12. El uso de SIG en la calidad del agua**

Un Sistema de Información Geográfica (SIG) es un sistema de base de datos de entrada, manejo y presentación de los mismos, diseñada para manipular grandes volúmenes de información espacial y no espacial georreferenciada, provenientes de una amplia variedad de fuentes de agua

(Tim & Jolly, 1994). En los últimos años se han venido utilizando herramientas que contribuyen en la toma de mejores decisiones al tiempo de brindar soluciones de corto plazo a través de diseño de estrategias para proteger la calidad de los cuerpos de agua (Misiti & Faga, 2002); en el caso específico del agua, el uso de SIG, cada vez se hace más frecuente para evaluar la tendencia, así como el seguimiento y monitoreo de impactos de los variados usos del suelo sobre la calidad del agua en una cuenca, especialmente la contaminación por fuentes puntuales. (Misiti & Faga, 2002)

Mediante un SIG es posible generar mapas que muestran diversa características de una cuenca,

como ser uso del suelo, tipos de suelos, características de la calidad del agua, s y topografía, al tiempo de producir bases de datos sofisticadas que puedan proporcionar datos de entradas para ejecutar modelos de simulación (Jensen, s.f.). El DEQ (2002) utiliza el SIG para delinear áreas de captaciones de agua potable con el fin de proporcionar a la comunidad información base para desarrollar estrategias de gestión y manejo de la calidad del agua y de esa manera poder tomar decisiones en base a priorizaciones. Para ello identifican áreas sensibles dentro de la cuenca, mediante el análisis SIG, de fajas de protección a lo largo de los cauces, potencial de erosión y permeabilidad de los suelos y el potencial de escorrentía. Finalmente se

obtienen áreas críticas donde las fuentes de contaminación o las actividades del uso de la tierra, poseen un alto potencial de afectar los abastecimientos de agua.

## **9.- HIPOTESIS**

### **9.1.- Hipótesis Alternativa**

Los resultados de los métodos de interpolación permitirán conocer la distribución espacial de la concentración de nitratos en la microcuenca del río Cutuchi (MRC).

### **9.2.- Hipótesis Nula**

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

## **10.- METODOLOGIA (TÉCNICAS, MÉTODOS, INSTRUMENTOS).**

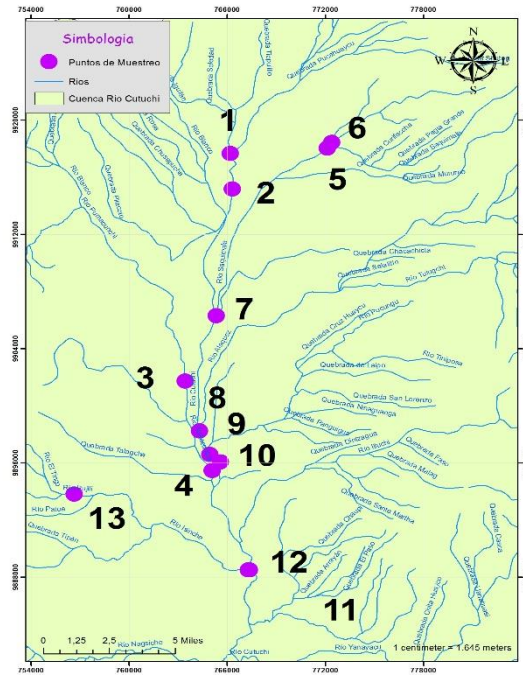
### **10.1.- Área de Estudio**

La microcuenca de Cutuchi (MRC) se encuentra ubicado en el cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi, nace de los deshielos del volcán Cotopaxi y, tras un recorrido aproximado de unos 100.591 km, desemboca en el Patate, junto con el Chambo desembocan en el Pastaza uno de los afluentes de Amazonas. El MRC se orienta en dirección Norte-Sur, entre las coordenadas geográficas 1° 10' - 1° 20' de latitud sur 76° 34'-78° 34' este drena una cuenca de 301 km<sup>2</sup>. El clima predominante del área de estudio es húmedo sin déficit de agua, Mega térmico cálido (INAMHI 2016).

Para el análisis del mejor método de interpolación de nitratos en la micro cuenca del Río Cutuchi, se trabajó con dos bases de datos: UTC (sept 2011 - julio 2011), SEK (20017 – 2018), para lo cual se seleccionaron 13 puntos de control de la base de datos UTC, por otro lado para la base de datos de SEK se trabajaron 3 puntos.

**Gráfico 2:** Ubicación de los datos UTC

puntos tomados por la base de



Fuente: (Barba, 2018)

## 10.2. Análisis Exploratorio de Datos.

Cabe señalar que en esta etapa el estudio se contara con dos bases de datos, por lo que este análisis consiste en aplicar un conjunto de técnicas geo estadísticas y gráficas que servirán para tener un entendimiento básico de los datos que en este caso se analizara el comportamiento de la variable nitratos, ver si la distribución de la información presenta normalidad o al menos simetría mediante las medidas de resumen y gráfico de cajas (box-plot). (Olmo, 2002).

Para realizar el análisis exploratorio de datos se ingresó los mismos al programa Infostat donde se observa el comportamiento de los datos de la variable nitratos en dos partes el primer paso es aplicar la función medidas de resumen para establecer media, mínima, máxima, kurtosis, datos faltantes y el segundo paso es graficarlo para las dos bases de datos como se muestra a continuación:

## 10.3.- Procesamiento con Surfer.

El programa Surfer cuenta con doce interpoladores mediante los cuales vamos a verificar cuál de ellos es el que nos da como resultado el menor error en relación a las bases de datos tanto de la UTC como de la SEK según el comportamiento de la variable nitratos ubicados dentro

de la microcuenca del río Cutuchi, el mismo que cuenta los métodos: distancia inversa ponderada, kriging, vecino natural, vecino más cercano, función de base radial, regresión polinomial, medias móviles, polinomio local.

#### **10.4.-Validación del Método.**

La validación de métodos es el proceso por el cual se demuestra que los procedimientos realizados con anterioridad sean o no aptos para el uso indicado. Es importante conocer cuál de los métodos empleados para la interpolación de datos sobre la concentración de los nitratos en la Microcuenca del Río Cutuchi resulta mejor. La validación del método nos ayuda a verificar la eficacia y las características de desempeño de los estimadores de interpolación. (Melo, 2012).

En estadística, el error cuadrático medio (ECM) de un estimador mide el promedio de los errores al cuadrado, es decir, la diferencia entre el estimador y lo que se estima. El ECM es una función de riesgo, correspondiente al valor esperado de la pérdida del error al cuadrado o pérdida cuadrática. La fórmula de cálculo del ECM se muestra a continuación:

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

Donde

n: número de datos

A<sub>i</sub>: valor predicho (datos interpolados)

F<sub>i</sub>: valor observado o conocido (datos reales).

#### **10.5.- Mapas de Interpolación.**

Los mapas de interpolación de la variación espacio temporal de los nitratos en la MRC se realizaron con el Software ArcGIS. Para calcular estadísticas de las entidades y realizar actividades de geo procesamiento como la interpretación de los resultados el cauce del río que pertenece al área de estudio se dividió en 5 afluentes: Isinche, Tomacuntze, Saquimala, Cutuchi 1 y Cutuchi 2; se los dividió de esta manera ya que un afluente va a presentar mayor contaminación que otro por lo tanto no afectaría a los otros efluentes.

Se utilizó el interpolador matemático Kriging, 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 con la finalidad de ver la distribución de los datos con el histograma y así podremos observar si los datos 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 mediana sean parecidas.

## **11.- ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.**

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 las zonas 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 geoestadística representa una herramienta que provee métodos para la estimación de variables de análisis en sitios no muestreados. El análisis geoestadístico en Sistemas de Información Geográfica (SIG) se ha utilizado ampliamente en la interpolación de datos climáticos (Tveito & Forland, 1999; Tveito et al., 2005). Los datos espacialmente continuos que no están disponibles, son difíciles de obtener y costosos de adquirir, por lo tanto variables no muestreadas deben estimarse para generar datos espacialmente continuos. Los métodos de interpolación espacial proporcionan una herramienta para estimar los valores de una variable ambiental en sitios no muestreados utilizando datos de observaciones puntuales. Este proceso se puede realizar mediante el uso del software Surfer, programa que grafica información geoespacial y transforma datos en contornos curvos continuos mediante la utilización de 12 interpoladores (Yang, Kao, Lee & Hung, 2004; Vohat et al., 2013).

### **11.1.- ANÁLISIS EXPLORATORIO DE DATOS**

Para la realización del análisis exploratorio de datos se trabajó con dos bases de datos correspondientes a la UTC y SEK que se ingresaron al programa Infostat con el fin de explorar la distribución de la variable nitratos, cuál es su comportamiento y si presentan características como valores atípicos o outliers mediante gráficos de caja (Box-plot).

### 11.1.1. Base de datos UTC

Para el estudio se recopilaron datos de muestreos previos de nitratos de la micro cuenca del río Cutuchi, el muestreo se realizó desde septiembre – julio del 2011.

**Tabla 3:** Base de datos de nitratos de la UTC

PUNTOS	X	Y	NITRATO	PUNTOS	X	Y	NITRATO	PUNTOS	X	Y	NITRATO
P1	766188	9917672	3,96	P2	766323	9915180	1,25	P3	763440	9901733	4,47
P1	766188	9917672	3,25	P2	766323	9915180	1,25	P3	763440	9901733	4,47
P1	766188	9917672	3,00	P2	766323	9915180	2,60	P3	763440	9901733	4,47
P1	766188	9917672	3,59	P2	766323	9915180	2,60	P3	763440	9901733	4,47
P1	766188	9917672	3,59	P2	766323	9915180	2,60	P3	763440	9901733	4,47
P1	766188	9917672	3,59	P2	766323	9915180	2,60	P3	763440	9901733	4,47
P1	766188	9917672	0,80	P2	766323	9915180	0,90	P3	763440	9901733	0,40
P1	766188	9917672	0,80	P2	766323	9915180	0,90	P3	763440	9901733	0,40
P1	766188	9917672	0,80	P2	766323	9915180	0,90	P3	763440	9901733	0,40
P1	766188	9917672	0,80	P2	766323	9915180	0,90	P3	763440	9901733	0,40
P1	766188	9917672	0,80	P2	766323	9915180	0,90	P3	763440	9901733	0,40
P4	765089	9895459	2,97	P5	772129	9918060	2,67	P6	772393	9918447	1,25
P4	765089	9895459	2,97	P5	772129	9918060	5,40	P6	772393	9918447	1,25
P4	765089	9895459	2,97	P5	772129	9918060	5,40	P6	772393	9918447	1,25
P4	765089	9895459	2,97	P5	772129	9918060	5,40	P6	772393	9918447	1,25
P4	765089	9895459	2,97	P5	772129	9918060	5,40	P6	772393	9918447	1,25
P4	765089	9895459	2,97	P5	772129	9918060	5,40	P6	772393	9918447	1,25
P4	765089	9895459	1,60	P5	772129	9918060	1,60	P6	772393	9918447	0,20
P4	765089	9895459	1,60	P5	772129	9918060	1,60	P6	772393	9918447	0,20
P4	765089	9895459	1,60	P5	772129	9918060	1,60	P6	772393	9918447	0,20
P4	765089	9895459	1,60	P5	772129	9918060	1,60	P6	772393	9918447	0,20
P4	765089	9895459	1,60	P5	772129	9918060	1,60	P6	772393	9918447	0,20
P7	765330	9906313	4,74	P8	764315	9898242	3,51	P9	764948	9896593	2,20
P7	765330	9906313	4,74	P8	764315	9898242	3,51	P9	764948	9896593	2,10
P7	765330	9906313	1,25	P8	764315	9898242	3,51	P9	764948	9896593	5,64
P7	765330	9906313	4,74	P8	764315	9898242	3,50	P9	764948	9896593	21,10
P7	765330	9906313	4,74	P8	764315	9898242	3,50	P9	764948	9896593	21,10
P7	765330	9906313	4,74	P8	764315	9898242	3,50	P9	764948	9896593	21,10
P7	765330	9906313	0,60	P8	764315	9898242	0,60	P9	764948	9896593	0,80
P7	765330	9906313	0,60	P8	764315	9898242	0,60	P9	764948	9896593	0,80
P7	765330	9906313	0,60	P8	764315	9898242	0,60	P9	764948	9896593	0,80
P7	765330	9906313	0,60	P8	764315	9898242	0,60	P9	764948	9896593	0,80
P7	765330	9906313	0,60	P8	764315	9898242	0,60	P9	764948	9896593	0,80

P10	765588	9896070	2,01	P11	767312	9888504	3,15	P12	767373	9888511	5,00
P10	765588	9896070	2,01	P11	767312	9888504	3,15	P12	767373	9888511	5,64
P10	765588	9896070	2,01	P11	767312	9888504	3,15	P12	767373	9888511	5,64
P10	765588	9896070	2,10	P11	767312	9888504	3,15	P12	767373	9888511	5,64
P10	765588	9896070	2,00	P11	767312	9888504	3,15	P12	767373	9888511	5,64
P10	765588	9896070	2,00	P11	767312	9888504	3,15	P12	767373	9888511	5,64
P10	765588	9896070	1,70	P11	767312	9888504	0,90	P12	767373	9888511	0,70
P10	765588	9896070	1,70	P11	767312	9888504	0,90	P12	767373	9888511	0,70
P10	765588	9896070	1,70	P11	767312	9888504	0,80	P12	767373	9888511	0,70
P10	765588	9896070	1,70	P11	767312	9888504	0,90	P12	767373	9888511	0,70
P10	765588	9896070	1,70	P11	767312	9888504	0,90	P12	767373	9888511	0,70
P13	756640	9893828									
P13	756640	9893828	3,43								
P13	756640	9893828	3,43								
P13	756640	9893828	3,43								
P13	756640	9893828	3,43								
P13	756640	9893828	3,43								
P13	756640	9893828	0,70								
P13	756640	9893828	0,70								
P13	756640	9893828	0,70								
P13	756640	9893828	0,7								
P13	756640	9893828	0,70								

Fuente: (Natura, 2010 - 2011)

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

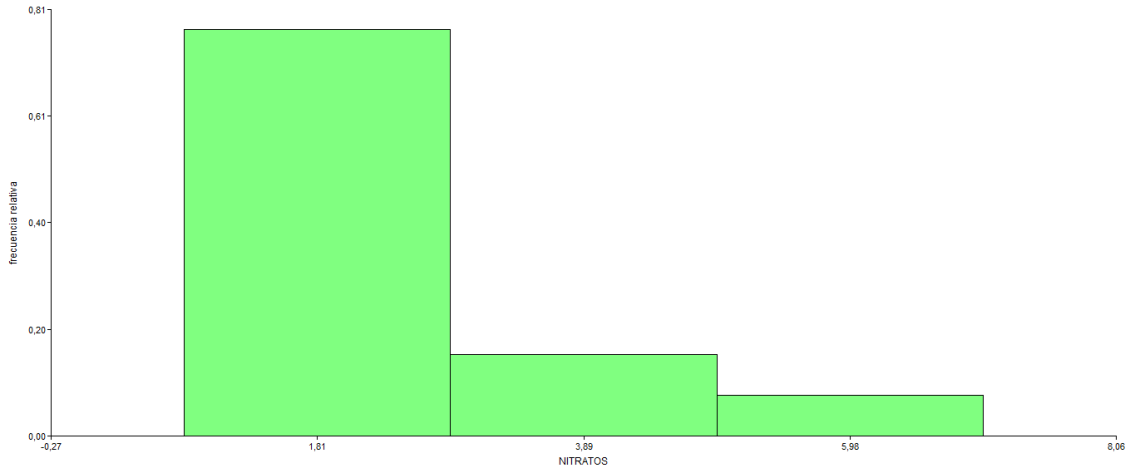
Tabla 4: Medidas de resumen datos (UTC).

VARIABLE	n	MEDIA	D.E	E.E	CV	MÍN	MÁX	MEDIANA	Q1	Q3	ASIMETRÍA	KURTOSIS	DATOS FALTANTES
Nitratos	13	2,65	1,49	0,41	56,21	0,77	7,02	2,27	2,12	2,62	2,24	3,91	0

Fuente: (Barba, 2018).

El análisis de medidas de resumen de los datos UTC para los trece puntos se presenta en la tabla 4, la mediana es menor 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 no es tan baja (DE = 1,49), el error estándar es muy cercano a cero. Sin embargo el coeficiente de variación es grande ( $> 20\%$ ), en esta base de datos no se presentan valores atípicos (Gráfico 4) El rango de nitratos analizados va desde 0,77 a 7,02 mg/L (Tabla 4). El cuartil 1 que representa el 25% de los datos es: 2,12 mientras que el cuartil 3 que corresponde al 75% de los datos tiene un valor de: 2,62. La asimetría es: 2,24 como el valor es positivo quiere decir que los datos son

asimétricos. En cuanto a la curtosis, tenemos un valor positivo de 3,91 lo que nos indica que es leptocurtica porque hay una mayor concentración de los datos en torno a la media.



**Gráfico 3:** Histograma UTC

**Fuente:** (Barba, 2018)

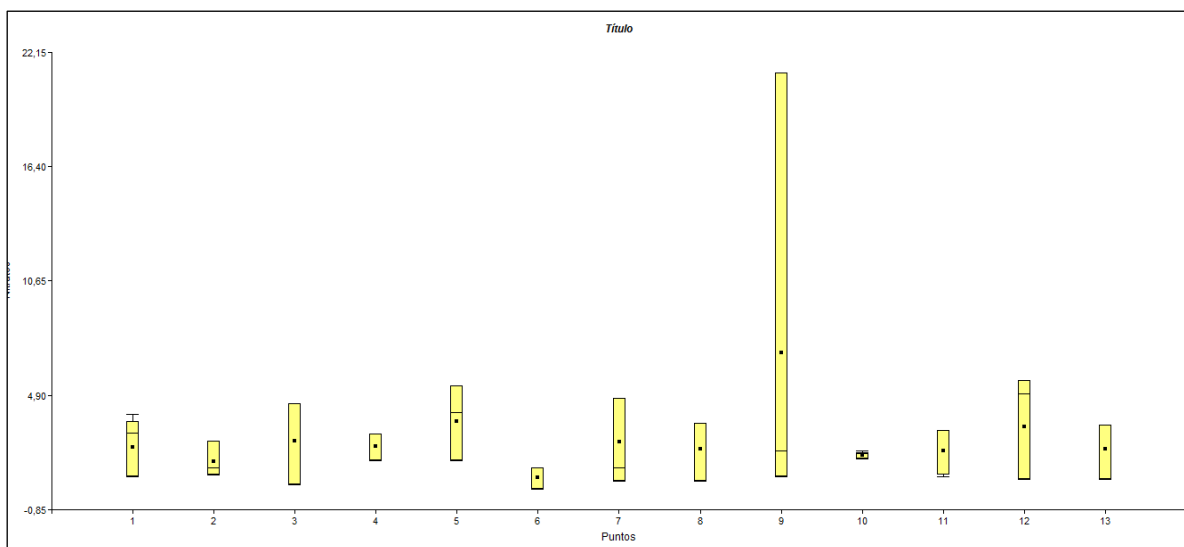
El análisis gráfico mediante caja box plot e histogramas permitió conocer y entender los datos de nitrato, así como ratificar el análisis de medidas de resumen.

### 11.1.2. Gráficos box- plot

Mediante la gráfica con box- plot, es posible definir escalas, título, y la información presentada en la gráfica, la interpretación es la siguiente: el rectángulo amarillo central representa el 50% de los datos y está comprendido entre el primer y tercer cuartiles de los datos. Al centro del rectángulo está la mediana; el puntito negro que aparece arriba de la mediana es la media aritmética. Los valores extremos son: el superior representa el cuartil 1 y el inferior el cuartil 3. La gráfica muestra que existe una gran concentración de los datos por debajo de la media aritmética y que los datos mayores que la media son pocos.

**Gráfico 4:** Box-plot de datos de la SEK, variable nitratos en trece puntos de muestreo





Fuente: (Barba, 2018)

### 11.1.3. Base de datos SEK

Los datos de monitoreo de la Universidad SEK corresponden a los meses octubre 2017 – abril 2018 tomados en tres puntos de muestreo.

**Tabla 5:** Base de datos de nitratos de la SEK

PUNTOS	X	Y	NITRATO
P1	755389	7852425	0,05
P1	755389	7852425	2,8
P1	755389	7852425	3,5
P1	755389	7852425	0,02
P1	755389	7852425	0,29
P1	755389	7852425	0,31
P1	755389	7852425	0,04
P2	766244	9917741	0,23
P2	766244	9917741	0,26
P2	766244	9917741	0,03
P2	766244	9917741	0,29
P2	766244	9917741	0,19
P2	766244	9917741	0,1
P2	766244	9917741	0,18
P3	765352	9895884	0,4
P3	765352	9895884	0,035
P3	765352	9895884	0,245
P3	765352	9895884	0,465
P3	765352	9895884	0,14
P3	765352	9895884	0,36
P3	765352	9895884	0,39

Fuente: (SEK, 2017)

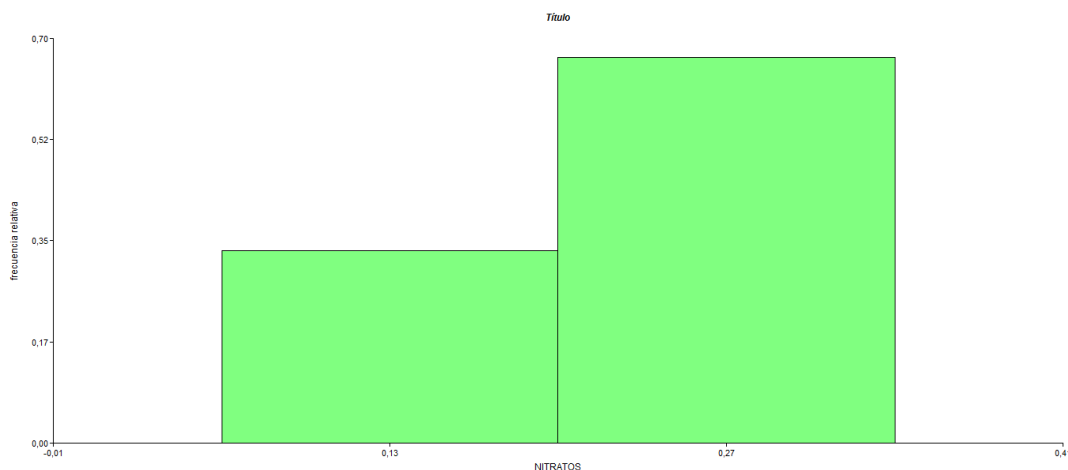
**Tabla 6:** Medidas de resumen datos (SEK).

VARIABLE	n	MEDIA	D.E	E. E	CV	MÍN	MÁX	MEDIANA	Q1	Q3	ASIMETRÍA	KURTOSIS	DATOS FALTANTES
Nitratos	3	0,22	0,15	0,08	65,25	0,06	0,34	0,27	0,06	0,34	-1,29		0

Fuente: (Barba, 2018)

El análisis de medidas de resumen de los datos SEK para los tres puntos se presentan en la tabla 5, la mediana es mayor que la media por lo tanto su distribución es asimétrica con cola a la izquierda (Gráfico 5). La dispersión de los datos alrededor de la media es baja (DE = 0.15), el error estándar es muy cercano a cero. Sin embargo el coeficiente de variación es grande (>20%), pudiendo evidenciarse valores atípicos (Gráfico 6). El rango de nitratos analizados va desde 0.06 a 0.34 mg/L (Tabla 5). El cuartil 1 representa el 25% de los datos en este caso tiene un valor de: 0,06 y el cuartil 3 es: 0,34 lo que representa el 75% de los datos. La asimetría es: - 1,29 como el valor es negativo los datos no son tan simétricos. El valor de la curtosis fue cero por lo tanto su distribución es mesocurtica (distribución normal).

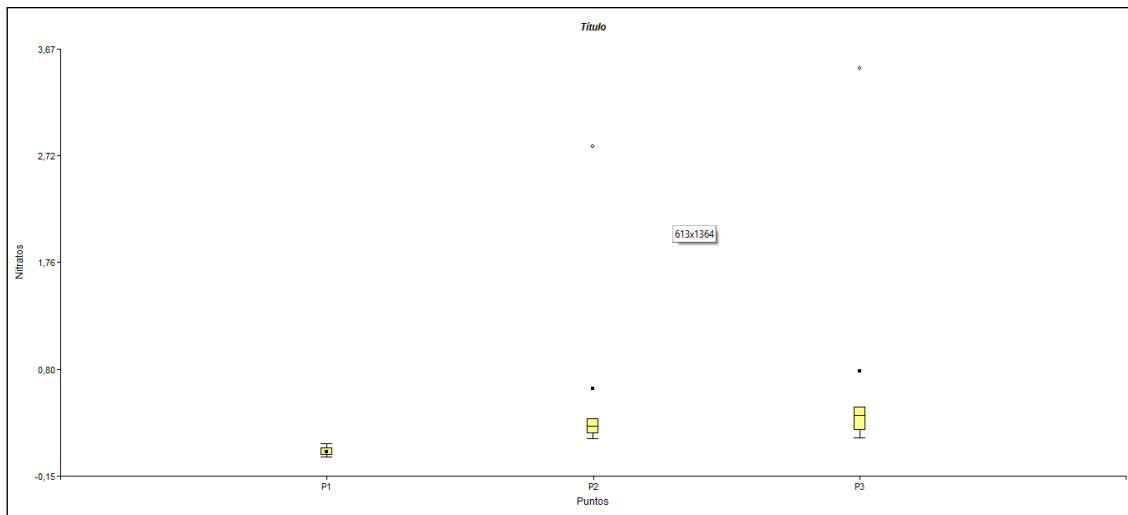
**Gráfico 5:** Histograma SEK



Fuente: (Barba, 2018)

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

Gráfico 6: Box-plot de datos de la SEK, variable nitratos en tres puntos de muestreo



Fuente: (Barba, 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 6, la existencia de dos puntos fuera de rango por lo que es necesario eliminarlos y completarlos con la media

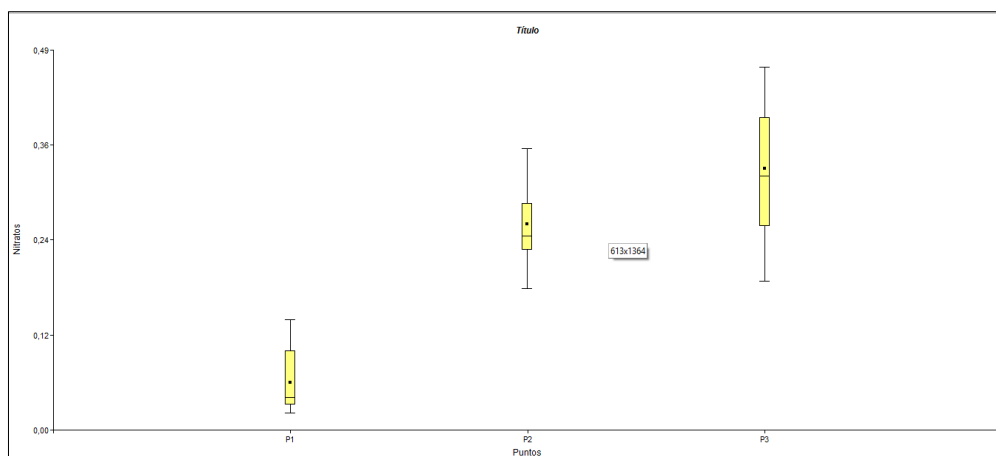


Gráfico 7: Box-plot de datos de la SEK sin considerer outliers, variable nitratos en tres puntos de muestreo

Fuente: (Barba, 2018)

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

## 11.2. PROCESAMIENTO CON SURFER

Los datos fueron ingresados en el programa Infostat, ahora se procede a interpolarlos mediante el programa Surfer; haciendo uso de la opción data se generaron los modelos a partir de cada uno de los métodos de interpolación de Surfer, definiendo un espaciamiento de 10 por 10 para construir la rejilla y obtener 100 datos como resultado, así se obtuvieron los modelos para cada interpolador y a cada uno de ellos se le calculó posteriormente el EMC, adoptando como modelo definitivo del método aquel en el cual se obtuvo el menor valor de EMC. De esta manera, los parámetros con los que se obtuvieron los modelos definitivos de cada método fueron los siguientes:

En la base de datos de la UTC se obtuvo como mejores interpoladores: *Kriging*, *media móvil* y *regresión polinomial*. Por otro lado para la base de datos de la SEK los mejores interpoladores fueron: *base radial*, *distancia inversa* y *Kriging*.

**Tabla 7:** Resultados con los interpoladores de Surfer.

Método	EMC-UTC	EMC-SEK
Distancia Inversa Ponderada	0,71	0,07
Kriging	0,28	0,07
Mínima Curvatura	3,00	0,65
Método Sherpad Modificado	900,61	1701410000000000

Vecino Natural	12484936128329300000000	17014100000000000
Vecino más cercano	0,66	0,13
Regresión Polinomial	0,58	0,65
Función de base radial	0,58	0,06
Triangulación	12484936128329300000000	
Media Móvil	0,52	0,13
Métrica de datos.	125,41	17,85
Polinomio Local	1,63	11784338255263,10

---

Fuente: (Barba, 2018)

### 11.3. VALIDACIÓN DEL MÉTODO

En el caso de la base de datos UTC los mejores métodos fueron: **Kriging** con un EMC de: 0,28 para la variable nitratos dentro de la MRC; siendo el método que se ajusta mejor a los valores que fueron muestreados de la base de datos correspondiente. El segundo mejor método fue: **Media móvil** con un EMC de: 0,52 y la **Regresión polinomial** con un 0,58. Estos resultados a diferencia del estudio realizado para nitratos en el río Bogotá (Morillo - Barragán, Pozo- Balseca, Preciado, & M, 2012), son diferentes ya que en ese caso se obtuvo como métodos más precisos: **Método modificado de Shepard**, funciones de **bases radiales** y **kriging** ya que a estos correspondieron los menores valores del EMC.

Mientras que para el estudio de la base de datos SEK los mejores métodos fueron: **Base Radial** con un EMC de: 0,06 y los otros dos métodos corresponden a: **Distancia Inversa Ponderada** y **Kriging** con un valor de: 0,07 correspondientes a los nitratos dentro de la MRC. Por otro lado tenemos los métodos de **Kriging** y **Regresión Polinomial** con un EMC de 0,15 y 0,22 respectivamente se obtuvo como resultados para la investigación realizada en el río Oja en la ciudad de España por los autores (Santamaría, Wester, & Wackernagel, 2011) ; si bien es cierto tanto en la base de datos UTC como en la de la SEK comparado con los estudios similares se obtiene en todos dentro de los mejores métodos al Kriging.

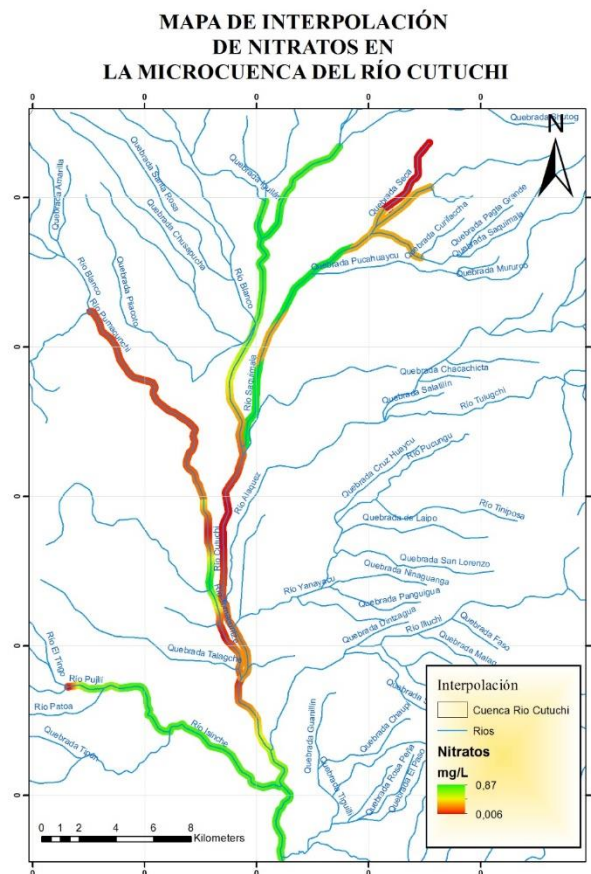
### 11.4. MAPAS DE INTERPOLACIÓN.

Complementariamente al análisis efectuado con el programa Surfer, se realizó una evaluación geostatística 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 dos mapas, correspondientes a las épocas de los meses septiembre – febrero y marzo - julio, de los nitratos de la zona de estudio. Además de los mapas se obtuvieron resúmenes estadísticos de los errores obtenidos luego del proceso de interpolación geográfica. A continuación se muestra uno de los mapas elaborados con el programa ArcGis 10.2

**Gráfico 8:** Interpolación de puntos correspondientes a la base de datos UTC para el parámetro nitratos.



**Fuente:** (Barba, 2018)

Para la realización del mapa fue necesario separar al río en 5 afluentes para generar un área de influencia y poder apreciar de mejor manera la interpolación en un solo río. En el mapa se observa que existen algunos tramos del río donde la concentración de nitratos es mayor y en otras menor, por ejemplo en el tramo 1 correspondiente a Cutuchi 1, se observa una concentración mayor de nitratos en los sectores correspondientes a descargas de aglomerados

Cotopaxi y fábricas de papel, en la parte media tenemos la Hacienda San Patricio (cultivos de coliflor) e invernaderos de rosas. En el Cutuchi 2 hay presencia de descargas de aguas servidas de Latacunga. En el afluente Saquimala no se observa mayor concentración de nitratos debido a que sus descargas corresponden a páramos por lo tanto son aguas limpias. Para el afluente Isinche el tiempo de disolución de nitratos no permite que afecte tanto; sin embargo se encontró descargas de agricultura, floricultura y asentamientos y descargas de aguas servidas. El afluente Tomacuntze se observa una mayor concentración de nitratos debido a la descarga de aguas servidas, lubricadoras y pedazos de heces en las aguas de la ciudad de Pujilí, tomando en cuenta que mientras más concentración exista de nitratos más contaminada está el agua.

## **12.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **Conclusiones**

- ✓ El análisis exploratorio de datos permitió evaluar el comportamiento y dispersión de la concentraciones de nitratos para la bases de la SEK y UTC mediante el programa

Infostat. En la base de la SEK se encontró valores atípicos que fueron reemplazados por la media.

- ✓ La interpolación se realizó en el programa Surfer para las dos bases de datos (UTC, SEK) determinando los mejores métodos de interpolación para nitratos con el mínimo error medio cuadrático (EMC): kriging, media móvil, regresión polinomial y base radial respectivamente.
- ✓ A través de los mapas de distribución de nitratos en la MRC se observó de mejor manera la concentración de nitratos que presenta el área de estudio con relación a las descargas que se encuentran ubicadas en cada uno de los puntos donde se realizó el muestreo previo a la investigación y se obtuvo los datos.

### **Recomendaciones**

- ✓ El análisis exploratorio de datos es una herramienta para la interpolación de datos apoyando a los monitoreos que generan mucho tiempo y dinero.
- ✓ Aplicar las herramientas de sistemas de información geográfica para conocer de mejor manera la presencia de parámetros de la calidad del agua.
- ✓ La utilización del software Infostat y Surfer son instrumentos que facilitan los procesos dentro de temas ambientales generan ventaja para aplicarlos en proyectos principalmente de aguas.

### **13.- BIBLIOGRAFIA**

Albert, S., & SIABATO, W. e. (2002). Revista Ingenieria, Modelo de calidad de aire para Bogota. Colombia. Bogota: Grupo Editorial GAIA.

Alexandra, A. &. (2011). Evaluacion de la calidad del agua y propuestas de tratamiento y control de la contaminacion. Universidad de Cadiz.



- Alvarado, H. (2002). Llama Nobel a controlar emision de contaminantes. *Latin American Newsstand.ProQuest. New Jersey.*
- Alvarado.M.S, C. (2016). Determinacion del indice de calidad de agua ICA-NSF.
- Alvarez, C. &. (2009). Agricultural Research Service "The Nitrate Problem". *Ground Water Quality and Agricultural Practices. Vol.4*, 153-174.
- AQUALOGY. (2008). *Esfera del Agua, decenio internacional para la accion agua fuente de vida*. Obtenido de [www.esferadelagua.es/agua-y-tecnologia/contaminacion-del-agua-por-nitratos](http://www.esferadelagua.es/agua-y-tecnologia/contaminacion-del-agua-por-nitratos).
- Aragoneses, P. (2002). *Por que contaminamos*. Madrid: Graficas Halas.
- ARMSTRONG, M. (1998). Basic Linear Geostatistics Springer. 34,35.
- Barba. (2018).
- Batista- Legra, Y. &.-F. (Junio de 2013). *Medidas Estadistica Descriptiva* pag 56-57.
- Belete, O. (Marzo de 2015). *Estudio de la precision del modelo estadistico, medidas estadisticas, Cuba, La Habana*. Obtenido de pag, 17-22.
- Benayas, J. (1989). *El Agua , Guia para la Educacion Ambiental ,McGraw-Hill*. Colombia.
- BOADA, R. (2015). *Documentos Mètodos no Deterministicos, Kringing. Mòdulo Estadística Espacial, Especializaciòn en SIG*. Manizales, Caldas.
- BOSQUE, S. (2000). *Sistemas de Informacion Geogràfica*. Madrid: Ediciones Rialp.
- Burrough, P. &. (2000). *Principles of Geographical Information Systems Oxford University Press, Oxford 333pp*.
- Chang, K.-T. (2006). *Introduction to Geographic Information Systems.3rd Edition*. McGraw Hill: ISBN: 0070658986.
- CHAUVET, P. (1999). Aide memorie de Geostatistique lineaire Paris. *Les presses de l'ècole des mines de Paris*.
- Chavez, J. (2013). *Interpolacion geoestadistica en cuencas hidrograficas* .
- CHEN, S., & COWAN, C. G. (Febrero de 1991). *Orthogonal least squares learning algorithm for radial basis function networks*. Obtenido de IEEE Transactionson neural networks.
- Cortes, M. J. (Agosto de 1993). *Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales para pequeñas Comunidades*. Obtenido de <http://wikibooks.org/wiki/ingenier>
- Cressie, N. (1990). The Origins of Kriging , *Mathematical Ge -ology*.Vol.22. 239- 252.
- Crites, R. &. (2000). *Sistemas de Manejo de Aguas Residuales para Nucleos Pequeños y Descentralizados*. Colombia: Ed. por Emma Ariza H. Tomo 1.
- David, H. (Mayo de 2012). *Early sample measures of variability Statist Sci*.

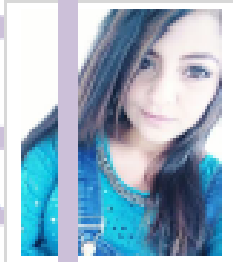
- DIAZ, M. (480 pags. de 2004). *Geoestadística Aplicada, presentaciones del curso*. Obtenido de Instituto Mexicano del Petróleo.
- Dinov, I. (Mayo de 2013). *Statistics Online Computational Resource Journal of Statistical*.
- Ellenhorn & Matthew, J. (2011). Diagnosis and treatment of human poisoning. *Wilkins Second*, 1149 - 1151.
- FEKI, H., & SLIMANI, M. (2012). Incorporating elevation in rainfall interpolation in Tunisia using geostatistical methods. *Hydrological Sciences Journal*, 1294- 1314.
- Fernández, N. R. (2003). Índices Físicoquímicos de Calidad del Agua. *Conferencia internacional sobre usos múltiples del agua: para la vida y el desarrollo sostenible*. Colombia.
- García Pérez, A. (1992). *Estadística aplicada: Conceptos básicos*. Madrid.
- Giraldo, H. (2012). *Introducción a la Geoestadística. teoría y aplicación*. Departamento de estadística. Universidad Nacional de Colombia.
- GOMEZ & HERNANDEZ, J. (1996). Geostatistics and hydrology an overview. Second Joint Conference and Exhibition on Geographical Information olumen 1. *IOS Press Amsterdam*, 457-466.
- Goovaerts, P. (1997). *Geostatistics for Natural Resources Evaluation* Oxford University Press. New York.
- Gordon S, T. (Marzo de 2013). *Interactive Analysis and Modelling of Semivariograms*. Snowden Associates Pty. Obtenido de [http://www.al-geoestats.org/online\\_papers/papers/0000001e.htm](http://www.al-geoestats.org/online_papers/papers/0000001e.htm)
- GORDON, S. T. (Agosto de 2011). *Interactive Analysis and Modelling of Semivariograms*. Snowden Associates Pty. Obtenido de [http://www.al-geoestats.org/online\\_papers/papers/0000001e.htm](http://www.al-geoestats.org/online_papers/papers/0000001e.htm)
- Hedi, M. (2002). *En Ingeniería de Aguas Residuales*(pags.751-752).
- Johnston, K. (Agosto de 2010). *Using ArcGIS Geostatistical Analyst, GIS by ESRI, Interpolador exacto*.
- JOURNEL, A. &. (1978). *Mining Geostatistics*. Reimpresión de la quinta edición publicada en 2003. *The Blackburn Press*.
- KITANIDIS, P. (1997). *Introduction to Geostatistics: Applications to Hydrogeology*. Cambridge University Press., 271.
- Lopez, S. (Enero de 2011). *Recursos Hídricos y Contaminación del agua*. Obtenido de [http://www.bioygeo.inf/pdf/06-Recursos\\_Hidricos\\_y\\_Contaminacion.pdf](http://www.bioygeo.inf/pdf/06-Recursos_Hidricos_y_Contaminacion.pdf)

- MAE, M. d. (2016). Obtenido de [www.ambiente.gob.ec/mae-ejecuta-plan-de-descontaminacion-del-rio-cutuchi](http://www.ambiente.gob.ec/mae-ejecuta-plan-de-descontaminacion-del-rio-cutuchi).
- MAUNE, D. &. (2001). Introduction, Digital elevation model technologies and applications: the DEM users manual, The American Society for Photogrammetry and Remote Sensing Maryland. *Crawford and C.E.*, 1-34.
- Melo, C. (2012). *Analisis Geoestadístico Espacio Tiempo Basado en Distancias y Splines con Aplicaciones*. Barcelona: Universidad de Barcelona.
- Misiti, N., & Faga, T. (Octubre. de 2002). *Protecting your communitys water supply using GIS ( en línea)*. Consultado el 09 de Octubre del 2002. Obtenido de Protecting Your Communitys Water Supply Usings GIS// Press...[www.ssmgroup.com/news/press\\_release\\_read.asp?prid=20](http://www.ssmgroup.com/news/press_release_read.asp?prid=20)
- Mitchell, M. (New Mexico, USA. 200p. de 2013). *Manual de Campo de Proyecto del Río: una guía para monitorear la calidad del agua. Segunda Edición .Proyecto del Río*.
- Morillo - Barragán, J., Pozo- Balseca, J., Preciado, P. , & M. (5-7 de España de 2012). *Ánalysis de calidad de un modelo digital de elevaciones generado con distintas técnicas de interpolación, en XIV Congreso Internacional de Ingenieria Gráfica*.
- Morillo- Barragán, J. (Abril de 2012). *Ánalysis de calidad de un modelo digital de elevaciones generado con distintas técnicas de interpolación y medidas estadísticas*.
- Myers, D. (Febrero de 2007). *Elements of Geostatistics*. Obtenido de <http://www.ento.vt.edu/sharov/PopEcol/lec2/geostat.html>.
- Natura, F. (2010 - 2011).
- Olmo, M. &. (2002). Applications for the local estimation of the probability distribution function in enviromental sciences by kriging methods, Inverse Problems. Vol 18 25-36.
- Paciorek, C. (2003). Nonstationary Gaussian Processes for Regression and Spatial Modelling. *Carnegie Mellon University. Pittsburgh*.
- PEBESMA, E. (2004). Geoestadística multivariables en S , el paquete gstat. Computadoras y Ciencias de la Tierra.
- Santamaría, M., Wester, R., & Wackernagel, R. (2011). *Manejo del software estadístico para manejo de cuencas hidrográficas, interpolaciones espaciales de fuentes de nitratos*.
- SEK, U. (2017).
- Sousa, A. (1989). Geostatistical data analysis an application to ore typology. *Armstrong Geostatistics Dordrecht*, vol2 , p 851-860.

- Tim, U., & Jolly, R. (1994). *Evaluating agricultural nonpoint-source pollution using integrated Geographic Information Systems and Hydrologic/Water Quality model.* *Journal Environmental Quality*, 23-25-35.
- USGS. (2006). *Handbooks for Water- Resources Investigations. COLLECTION OF WATER SAMPLES.*
- WACKERNAGEL, H., & SRIVASTAVA, R. (2003). *Multivariate Geostatistics: An Introduction with Applications*, Berlin. *Springer*.
- William, J. (2008). *Estadística , matematica con aplicaciones, CA,EE,UU Thomson Higher Education.*
- WILLIAM, J. (2008). *Estadística , matematica con aplicaciones, CA,EE,UU Thomson Higher Education.*
- YILMAZ, H. (32(9), 1346-1361 de 2007). *The effect of interpolation methods in surface definition: an experimental study.* Obtenido de *Earth Surface Processes and Landforms*.

## **ANEXOS**

**Anexo 1:** Hoja de vida del estudiante.



## Francis Gabriela Barba Oña

23 años  
Urb. Santa Inés, Machachi, Ecuador  
022315-739  
0983472536  
gabybarba25@hotmail.com

### ESTUDIOS

Año 2012 Título: Bachiller en Ciencias Químico Biológicas  
Guífo- Ecuador Unidad Educativa Experimental "Manuela Cañizares".

Año 2014 Estudios Universitarios en la Carrera de Ingeniería de  
Medio Ambiente  
Latacunga - Ecuador Universidad Técnica de Cotopaxi

### IDIOMAS

Español: Natal  
Inglés: Básico

### EXPERIENCIA LABORAL

Marzo 2017(Sangolquí - Ecuador)  
Gobierno Autónomo de Rumiñahui Sector  
Cargo ocupado: Pasante  
Tareas realizadas: Identificación de macro invertebrados

Marzo - Julio 2018(Latacunga - Ecuador)  
Empresa Pública de Aseo y Gestión Ambiental (EPAGAL)  
Cargo ocupado: Pasante  
Tareas realizadas: Analista de desechos sólidos.

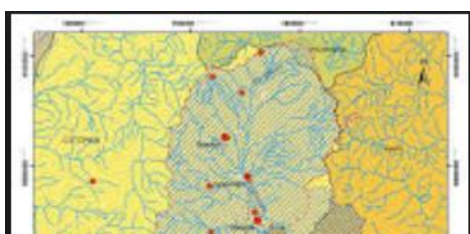
### REFERENCIAS LABORALES

**Blg: Cristian Aguilar**  
Gobierno Autónomo de Rumiñahui 0992667792

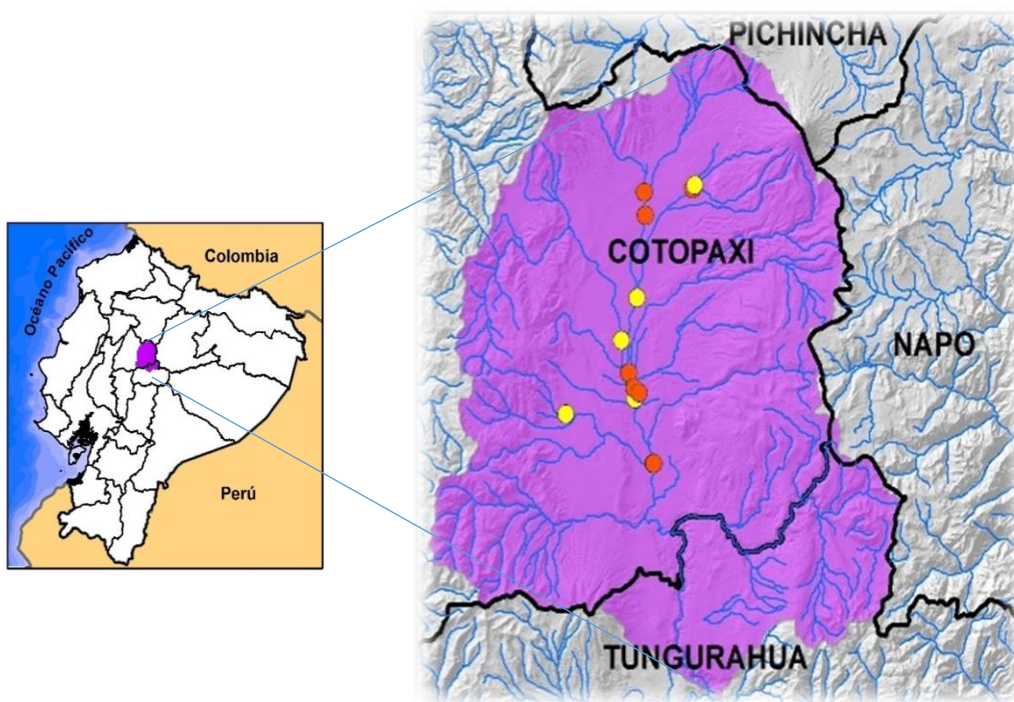
**Lic: Alejandra Imbaquingo Morales**  
Gad Autónomo Descentralizado de Mejía 0984682917

**Ing: Diego Avendaño**  
Empresa Pública de Aseo y Gestión Ambiental (EPAGAL)  
0998222302

Anexo 2: Microcuenca del río Cutuchi



**Anexo 3:** Puntos de muestreo del río Cutuchi



**Anexo 4:** Medidas de resumen base de datos UTC

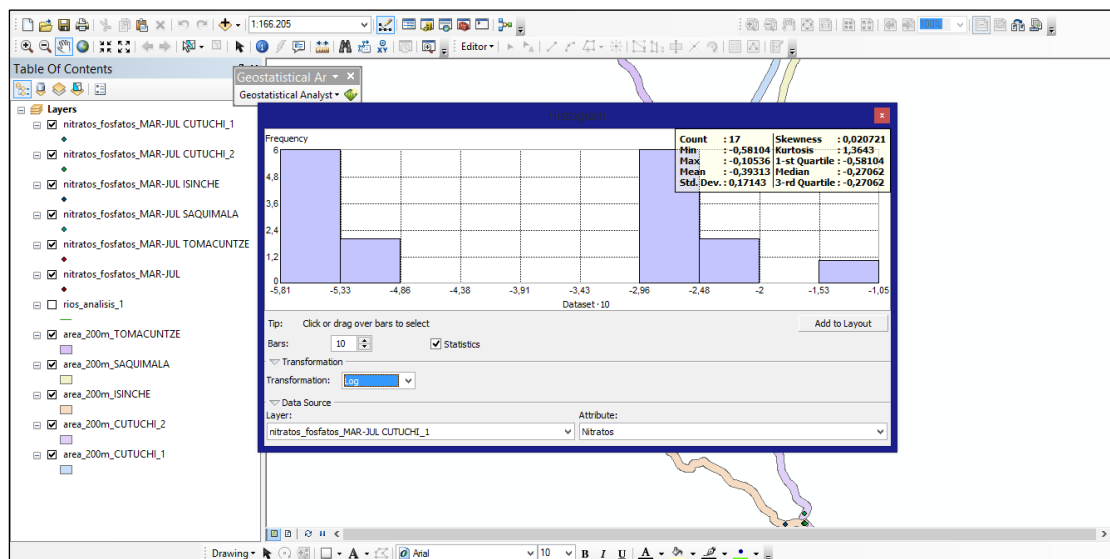
Puntos	Variable	n	Media	D.E	E.E	C.V	Min	Max	Mediana	Q1	Q3	Asimetría	Kurtosis	Datos Fuentes
--------	----------	---	-------	-----	-----	-----	-----	-----	---------	----	----	-----------	----------	------------------

1	Nitratos	11	2,27	1,43	0,43	62,87	0,8	3,96	3	0,8	3,59	-0,12	-1,89	0
2	Nitratos	11	1,58	0,82	0,25	51,71	0,9	2,6	1,25	0,9	2,6	0,57	-1,67	0
3	Nitratos	11	2,62	2,13	0,64	81,13	0,4	4,47	4,47	0,4	4,47	-0,21	-1,97	0
4	Nitratos	11	2,35	0,72	0,22	30,48	1,6	2,97	2,97	1,6	2,97	-0,21	-1,97	0
5	Nitratos	10	3,61	1,92	0,61	53,14	1,6	5,4	4,04	1,6	5,4	-0,09	-1,93	1
6	Nitratos	11	0,77	0,55	0,17	70,96	0,2	1,25	1,25	0,2	1,25	-0,21	-1,97	0
7	Nitratos	11	2,54	2,11	0,64	83,19	0,6	4,74	1,25	0,6	4,74	0,19	-1,95	0
8	Nitratos	11	2,18	1,52	0,46	69,45	0,6	3,51	3,5	0,6	3,51	-0,21	-1,97	0
9	Nitratos	11	7,02	9,15	2,76	130,33	0,8	21,1	2,1	0,8	21,1	1,11	-1,02	0
10	Nitratos	11	1,88	0,17	0,05	9,08	1,7	2,1	2	1,7	2,01	-0,11	-1,85	0
11	Nitratos	11	2,12	1,19	0,36	55,98	0,8	3,15	3,15	0,9	3,15	-0,21	-1,96	0
12	Nitratos	11	3,34	2,53	0,76	75,86	0,7	5,64	5	0,7	5,64	-0,2	-1,95	0
13	Nitratos	9	2,22	1,44	0,48	64,91	0,7	3,43	3,43	0,7	3,43	-0,27	-1,95	2

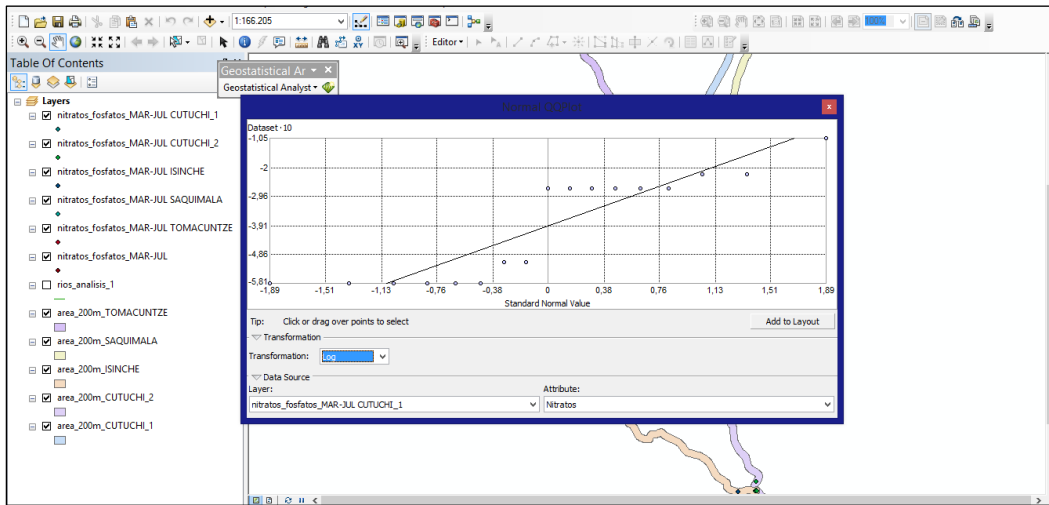
**Anexo 5:** Base de datos SEK

Puntos	Variable	n	Media	D.E	E.E	C.V	Min	Max	Mediana	Q1	Q3	Asimetría	Kurtosis	Datos Faltantes
P1	Nitratos	7	0,06	0,04	0,02	74,23	0,02	0,14	0,04	0,03	0,1	1,33	-0,47	0
P2	Nitratos	7	0,63	0,96	0,36	152,82	0,18	2,8	0,29	0,23	0,36	2,63	2,13	0
P3	Nitratos	7	0,79	1,2	0,45	152,25	0,19	3,5	0,39	0,26	0,47	2,61	2,11	0

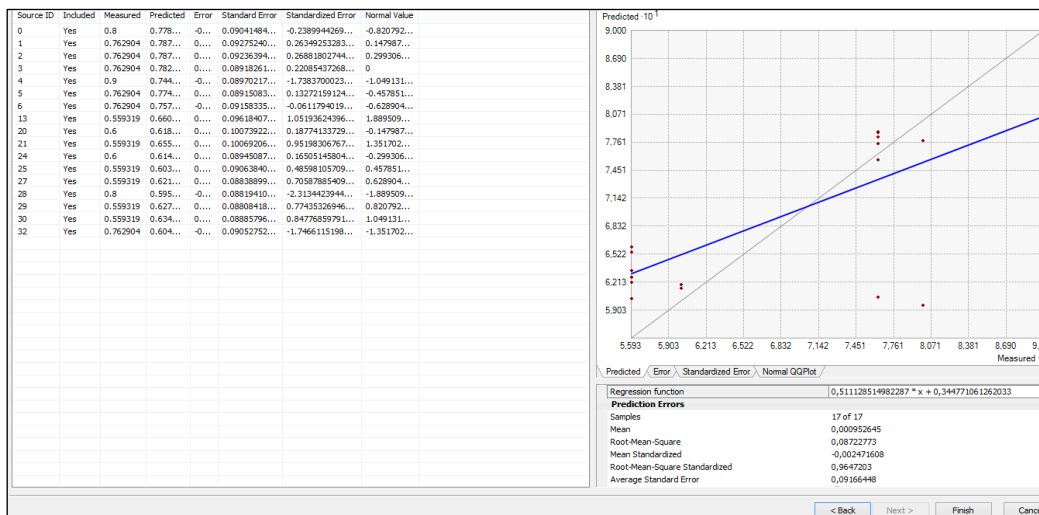
**Anexo 6:** Histograma realizado en el software ArcGIS



**Anexo 7:** QQ-PLOT realizado en el software ArcGIS



Anexo 8: Medidas de resumen realizado en el software ArcGIS



Anexo 9: Semivariograma realizado en el software ArcGIS

