



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

**“VARIACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DEL OXÍGENO DISUELTO EN
LA MICROCUENCA DEL RÍO CUTUCHI UTILIZANDO TÉCNICAS
DE INTERPOLACIÓN GEOESTADÍSTICA”**

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

AUTOR: Estrada Sanabria Johanna Paola

TUTOR: M. Sc. Kalina Marcela Fonseca Largo

LATACUNGA - ECUADOR

Agosto – 2018

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo **ESTRADA SANABRIA JOHANNA PAOLA** declaro ser autor (a) del presente proyecto de investigación: **VARIACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DEL OXÍGENO DISUELTO EN LA MICROCUENCA DEL RÍO CUTUCHI, UTILIZANDO TÉCNICAS DE ESTIMACIÓN GEOESTADÍSTICA, CANTÓN LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI**. Siendo la **Ing. M. Sc: 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.

.....
Estrada Sanabria Johanna Paola

171427178-8

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 **ESTRADA SANABRIA JOHANNA PAOLA**, identificado con C.C. N°**171427178-8** de estado **SOLTERA** y con domicilio en Quito, Solanda sector 2 calle Salvador Bravo Oe4-176 y José María Alemán, a quien en lo sucesivo se denominarán **EL CEDENTE**; y, de otra parte, el Ing. MBA. Cristian Fabricio Tinajero Jiménez, en calidad de Rector y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez Barrio El Ejido Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **EL CESIONARIO** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

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

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

Aprobación Consejo Directivo: agosto, 08 del 2018

Tutor. - M. Sc. Kalina Marcela Fonseca Largo

Tema: “VARIACIÓN ESPACIO - TEMPORAL DEL OXÍGENO DISUELTO 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.

Johanna Paola Estrada Sanabria

EL CEDENTE

Ing. MBA. Cristian Tinajero Jiménez

EL CESIONARIO

AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

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

“VARIACIÓN ESPACIO - TEMPORAL DEL OXÍGENO DISUELTO EN LA MICROCUENCA DEL RÍO CUTUCHI UTILIZANDO TÉCNICAS DE ESTIMACIÓN GEOESTADÍSTICA”, de Estrada Sanabria Johanna Paola, de la carrera 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 Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, agosto del 2018

El Tutor

Firma

M. Sc. Kalina Marcela Fonseca Largo

CC:172353445-7

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: **JOHANNA PAOLA ESTRADA SANABRIA** con el título de Proyecto de Investigación: **“VARIACIÓN ESPACIO - TEMPORAL DEL OXÍGENO DISUELTO EN LA MICROCUENCA DEL RÍO CUTUCHI UTILIZANDO TÉCNICAS DE ESTIMACIÓN GEOESTADÍSTICA”** han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

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

Latacunga, agosto 2018

Para constancia firman:

Lector 1

Nombre: Ing. M.Sc: Mercy Ilbay Yupa

CC: 060414790-0

Lector 2

Nombre: Ing. M.Sc. Juan Espinoza

CC: 171347432-6

Lector 3

Nombre: Dr. Carlos Mantilla

CC: 050155329-1

AGRADECIMIENTO

Le agradezco a Dios por haberme acompañado a lo largo de mi carrera. A mi familia en especial por ser mi apoyo incondicional, por ser mi mayor fortaleza en mis momentos de debilidad.

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

Johanna Paola Estrada Sanabria

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a mis padres, a mis hermanos, a mí cuñado por ser el pilar fundamental en mi vida, quienes estuvieron siempre a mi lado brindándome su apoyo incondicional a cada instante para llegar a culminar mi profesión y a mis sobrinos Samantha, Salomé y Nicolás quienes me han inspirado para ser el espejo en el que ellos se miren.

A todos aquellos a quienes contribuyeron en mi formación académica y profesional, en especial a mis amigas Eve, Pauli, Yoss y Gaby con quienes he compartido experiencias inolvidables.

Johanna Paola Estrada Sanabria

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y DE RECURSOS NATURALES

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

Autor: Johanna Paola Estrada Sanabria

RESUMEN

El presente estudio evaluó la variación espacio - temporal de las concentraciones de Oxígeno Disuelto (OD) en la Microcuenca del Río Cutuchi (MRC), la cual es parte del Río Pastaza, la MRC nace en los páramos de los deshielos del volcán Cotopaxi, tiene un área de 2677 km² y una longitud aproximada de 60 km. La distribución del OD en la MRC está determinada por el intercambio gaseoso a través de la superficie del agua, este es un indicador de cuan contaminada está el agua y es imprescindible para todas las formas de vida acuáticas. Para la investigación se utilizaron dos bases de datos, una de la Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC) y la otra de la Universidad SEK, las cuales fueron monitoreadas desde el mes de septiembre de 2010 a julio de 2011 por la UTC, y para la SEK desde el mes de octubre hasta abril del año 2017. Inicialmente se realizó un análisis exploratorio de datos (AED), para evaluar la distribución y el comportamiento de los datos, que posteriormente se procesaron con el paquete de interpoladores Surfer y finalmente se realizaron los mapas de distribución espacial del OD en la MRC. Como resultado se obtuvo en el AED datos que presentan bastantes outliers, los cuales no fue posible completarlos con la media ya que existe una variabilidad demasiado alta en su distribución en el espacio y en su uniformidad por la asimetría en los datos, esta variación se presenta porque el OD es muy sensible a factores contaminantes existentes cerca de la MRC que alteran las muestras obtenidas y por la época en la que fueron tomadas. Por ello se optó por separar a las bases de datos en época seca y lluviosa; logrando que los datos presenten menos variabilidad y aporten mejor en el análisis de interpolación. Como resultado se obtuvo que los tres mejores interpoladores, para las dos bases de datos, a pesar de que los valores son muy altos y no son aceptables fueron: *Distancia Inversa Ponderada*, *Regresión polinómica* y *Kriging*, que fueron valorados con el error medio cuadrático (EMC). Se concluyó que estos métodos se pueden utilizar para obtener datos del OD en la MRC, disminuyendo costos de tiempo y dinero que demandaría el levantamiento de información en campo.

Palabras clave: Interpolación, Oxígeno Disuelto, MRC, análisis estadístico, variabilidad.

ABSTRACT

The present research evaluated the variation space - temporary of the Oxygen Dissolved concentrations (OD) in Cutuchi River Microbasin (CRM), which is part of the Pastaza River, the CRM is born in the moors of Cotopaxi volcano thaws, it has an area of 2677 km² and 60 km length. The distribution of the OD in the CRM is determined by the gaseous exchange through the water surface, this is an indicator of how contaminated is the water and is indispensable for all the aquatic life forms. For the investigation, two databases were used, one from Technical University of Cotopaxi (UTC) and the other from SEK University, which were monitored since September 2010 to July 2011 by UTC, and by SEK since October to April 2017. Initially, it was realized an exploratory analysis of data (EAD), to evaluate the distribution and behavior of later they were processed by the package of the Surfer interpolator and finally to realize the spatial distribution maps of the OD in the CRM. As a result, data was obtained in the EAD that has enough outliers, which could not be completed with the mean since there is too high variability in its distribution in space and in its uniformity due to the data asymmetry, this variation is presented because the OD is very sensitive to contaminating factors near the CRM that alter the obtained samples and for the time when they were taken. Therefore, it was decided to separate the databases on dry and rainy season; achieving the present data less variability and contributing better in the interpolation analysis. As a result, it was obtained that the three best interpolators, for the two databases, although the values are so high and are not acceptable were: Inverse Distance Weighted, Polynomial Regression and Kriging, which were evaluated with the mean square error (MSE). It was concluded that these methods can be used to obtain OD data in the CRM, reducing costs of time and money that the gathering of information in the field would require.

Key words: Interpolation, Oxygen Dissolved, MRC, statistical analysis, variability.

ÍNDICE GENERAL

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	ii
CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR.....	iii
AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	vi
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN.....	vii
AGRADECIMIENTO	viii
DEDICATORIA	ix
RESUMEN.....	x
ABSTRACT	xi
1. INFORMACIÓN GENERAL	17
2. INTRODUCCIÓN.....	18
3. JUSTIFICACIÓN.....	19
4. BENEFICIARIOS	20
5. PROBLEMÁTICA.....	21
6. OBJETIVOS	23
7. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN CON LOS OBJETIVOS PLANTEADOS	23
8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA.....	24
8.1. CARACTERIZACIÓN Y CONTAMINACIÓN DEL RÍO CUTUCHI.....	24
8.2. PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUA	25
8.2.1. Parámetros Físicos	25
8.2.2. Parámetros Químicos	26
8.2.3. Parámetros biológicos	29
8.2.4. Parámetros Bacteriológicos	29
8.3. EL OXÍGENO DISUELTO (OD)	30
8.4. ANÁLISIS EXPLORATORIO DE DATOS (AED).....	33
8.4.1. MEDIDAS DE RESUMEN.....	34
8.4.2. GRÁFICAS ESTADÍSTICAS.....	35
8.5. INTERPOLACIÓN.....	36
8.5.1. INTERPOLADORES MATEMÁTICOS	36
8.6. MÉTODOS GEOESTADÍSTICOS.....	38
8.6.1. INTERPOLADOR GEOESTADÍSTICO	40
9. HIPÓTESIS.....	40
10. METODOLOGÍA.....	41
10.1. ÁREA DE ESTUDIO	41
10.2. ANÁLISIS EXPLORATORIO DE DATOS	42
10.3. PROCESAMIENTO CON SURFER	42

10.4.	VALIDACION DEL MÉTODO.....	42
10.5.	MAPAS DE INTERPOLACION.....	43
11.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	44
11.1.	ANÁLISIS EXPLORATORIO DE DATOS	44
11.1.1.	Base de Datos UTC.....	44
11.1.2.	Base de datos de la SEK.....	49
11.2.	PROSESAMIENTO CON SURFER.....	53
11.3.	VALIDACIÓN DEL MÉTODO.....	54
11.3.1.	Discusión de resultados	54
11.4.	MAPAS DE INTERPOLACIÓN.....	55
13.	BIBLIOGRAFÍA	59
14.	ANEXOS	63
14.1.	Anexo 1: Aval de traducción	63
14.2.	Anexo 2: Curriculum Vitae de la estudiante.	64
14.3.	Anexo 3: Mapas de interpolación.....	66
14.4.	Anexo 5: Procedimiento estadístico en el software ArcGIS 10.2.....	67
	Análisis de tendencia	67
	Nube del Semivariograma o covarianza.....	67
	Resumen estadístico validación del método - Error Medio cuadrático.....	67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Cuadro de beneficiarios.....	20
Tabla 2: Actividades en relación con los objetivos planteados.....	23
Tabla 3: Rangos de concentración de oxígeno disuelto y consecuencias ecosistémicas frecuentes.	31
Tabla 4: Puntos de muestreo tomados por la Universidad Técnica de Cotopaxi, sept 2011 - julio 2011.....	44
Tabla 5: Medidas de resumen con los datos originales	46
Tabla 6: Medidas de resumen época seca	47
Tabla 7: Medidas de resumen época lluviosa.....	48
Tabla 8: Puntos de muestreo tomados por la Universidad SEK, octubre - abril (20017 – 2018).	49
Tabla 9: Medidas de resumen con los datos originales.	50
Tabla 10: Medidas de resumen con la normalización de datos.....	51
Tabla 11: Error Medio Cuadrático (EMC) de la base de datos de la UTC y de la SEK	53

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Box-Plot con los datos originales.....	47
Gráfico 2: Histograma época seca.....	48
Gráfico 3: Histograma época lluviosa	49
Gráfico 4: Box-Plot con los datos originales.....	51
Gráfico 5: Box-Plot con la normalización de datos	52

ÍNDICE DE MAPAS

Mapa 1: Ubicación geográfica de la Microcuenca del Río Cutuchi.....	41
Mapa 2: Mapas de interpolación del Oxígeno	41
Mapa 3: Mapas de interpolación del Oxígeno.....	55

INFORMACIÓN GENERAL

Título del Proyecto:

“VARIACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DEL OXÍGENO DISUELTO EN LA MICROCUENCA DEL RÍO CUTUCHI UTILIZANDO TÉCNICAS DE ESTIMACIÓN GEOESTADÍSTICA, CANTÓN LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI”

Fecha de inicio:

Octubre 2017

Fecha de finalización:

Agosto 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:

Tuto de titulación: Ing. M. Sc. Kalina Fonseca

1. **Lector 1:** Ing. M. Sc. Mercy Ilbay
2. **Lector 2:** Ing. M. Sc. Juan Espinoza
3. **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

1. INTRODUCCIÓN

La evaluación de la distribución espacial de las variables que influyen en la calidad de agua es un paso previo para el manejo integral de los recursos hídricos. La caracterización de este recurso, se realiza mediante mediciones en campo que generalmente están limitadas por los recursos económicos o por la naturaleza misma del fenómeno.

La interpolación matemática y geoestadística es una manera de describir la continuidad espacial de cualquier fenómeno natural. Con ello llegamos a conocer la forma en que varía cualquier variable continua en el espacio a una o varias escalas seleccionadas, con un nivel de detalle que permite cuantificar la variación espacial de la variable en distintas direcciones del espacio. (Isaaks, 1989). El análisis geoestadístico y matemático en Sistemas de Información Geográfica (SIG) se ha utilizado ampliamente en la interpolación de datos climáticos (Tveito, 2005). Los datos espacialmente continuos que no están disponibles, son difíciles de obtener y costosos de adquirir, por lo tanto, variables no muestreadas deben estimarse para generar datos espacialmente continuos. Los métodos de interpolación espacial proporcionan una herramienta para estimar los valores de una variable ambiental en sitios no muestreados utilizando datos de observaciones puntuales.

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

Los métodos de interpolación espacial se han aplicado ampliamente en las ciencias ambientales, varios estudios han comparado un conjunto de diferentes métodos, lo que hace difícil sacar conclusiones generales. Sin embargo, el Kriging ordinario (OK), la distancia inversa ponderada (IDW), incluida la distancia inversa cuadrada (IDS) son los métodos más frecuentemente comparados (Chávez, 2013).

En esta investigación se determinó el mejor método de estimación del Oxígeno Disuelto (OD) en la microcuenca del río Cutuchi mediante el software Surfer, lo que nos permitiría disminuir costos de tiempo y dinero que demandaría el levantamiento de información en campo.

2. JUSTIFICACIÓN

La presente investigación se realizó con la finalidad de conocer la distribución espacial del OD y su influencia en la calidad del agua del río Cutuchi, mediante la utilización de la interpolación matemática y la geoestadística. La Microcuenca del río Cutuchi (MRC) es la fuente de suministro de agua para los cantones cercanos y de gran importancia para el sector agroecológico del país, por este río circulan 30 mil metros cúbicos de aguas servidas, dos toneladas de basura que afecta cerca de 40 mil hectáreas apostadas en las riberas y canales de agua. Por ello es necesario monitorear y evaluar su calidad constantemente a través de métodos específicos, rápidos, exactos y confiables para obtener una línea base de información para monitoreo periódico del mismo con el objeto de evitar mayores problemas suscitados por contaminación, eutrofización o cambios en el ecosistema (A. Burrough, 1998).

El OD presente en la MRC es de gran importancia ya que es un indicador de contaminación, por lo que si el río se encuentra altamente contaminado hay menos probabilidad de que exista vida acuática. El OD en el agua proviene del oxígeno en el aire que se ha disuelto en el agua, por lo que están muy influidos por las turbulencias del río (que aumentan el OD) o ríos sin velocidad (en los que baja el OD) (Josabeth., 2015). Parte del OD en el agua es el resultado de la fotosíntesis de las plantas acuáticas, por lo que ríos con muchas plantas en días de sol pueden presentar sobresaturación de OD. Otros factores como la salinidad, o la altitud (debido a que cambia la presión) también afectan los niveles de OD (Josabeth., 2015).

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. Los monitoreos constantes son extremadamente trabajosos y costosos a la vez, es por eso que es importante plantear estrategias de manejo adecuadas que implica analizar los índices de calidad del agua con diferentes parámetros. Estos monitoreos se los realiza por dos motivos de valiosa importancia: primeramente, la calidad del agua se puede establecer en función de parámetros físicos, químicos, bacteriológicos y biológicos, los mismos que en forma conjunta brindan un criterio respecto a la condición en la que se encuentra el recurso (Ramalho, 1990); por otro lado, saber la cantidad de agua con la que disponemos en un determinado sector o sitio; para poder establecer la disponibilidad del recurso, los usos a los cuales se puede destinar y la posibilidad de depuración.

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.

Razón por la cual se utilizaron programas geoestadísticos y matemáticos que son una herramienta imprescindible cuando se desea analizar los patrones de distribución espacial de las variables ecológicas y medioambientales a partir de muestreos realizados en el área de interés. Asimismo, el procedimiento de estimación geoestadístico, conocido como krigado, permite la realización de las mejores interpolaciones en aquellos lugares donde no se conoce la magnitud del atributo investigado (García, 2004), con el propósito de evaluar la variabilidad de espacio temporal del OD en la microcuenca del río Cutuchi. Con la implementación de estos nuevos sistemas geoestadísticos y matemáticos se promoverá el desarrollo de técnicas que facilitan los trabajos en campo en cuanto a los monitoreos, también se brindara nuevos conocimientos en las prácticas de Manejo Integrado de los Recursos Hídricos para mejorar las condiciones sociales, económicas y ambientales.

3. BENEFICIARIOS

Tabla 1: Cuadro de beneficiarios

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

Fuente: Estrada, J (2018)

4. PROBLEMÁTICA

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

En todo el mundo, al menos 2000 millones de personas se abastecen de una fuente de agua potable que está contaminada por heces. Más del 80% de las aguas residuales en los países en vías de desarrollo se descarga sin tratamiento, contaminando ríos, lagos y zonas costeras. El agua contaminada puede transmitir enfermedades como la diarrea, el cólera, la disentería, la fiebre tifoidea y la poliomielitis. Se calcula que la contaminación del agua potable provoca más de 502.000 muertes por diarrea al año (OMS, 2017). De aquí a 2025, la mitad de la población mundial vivirá en zonas con escasez de agua. En los países de ingresos bajos y medios, el 38% de los centros sanitarios carecen de fuentes de agua, el 19% de saneamiento mejorado, y el 35% de agua y jabón para lavarse las manos (Hora, 2017).

En Ecuador aproximadamente el 70% de los ríos del país están en condiciones críticas de contaminación, solo el 12% de las aguas que se emplean en el consumo humano recibe un tratamiento adecuado previo a su descarga en ríos y quebradas, de acuerdo con la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA) (Hora, 2017). Cinco ríos ecuatorianos están severamente contaminados, según un estudio de la Organización Oxfam Internacional, los ríos: "Machángara, Guayllabamba, Esmeraldas, Guayas y Cutuchi", están contaminados, y algunos de ellos tienen tramos declarados biológicamente muertos (Hora, 2017). Los niveles de contaminación de los cuerpos hídricos aumentan año tras año debido al sistema productivo que se instaura con el crecimiento de la población. En muchas zonas agrícolas se utiliza este tipo de agua para regadío de diversos tipos de cultivos sin estar conscientes del potencial tóxico de este recurso (Hora, 2017). Por lo tanto, es primordial realizar un análisis de la calidad del agua que se está usando para riego.

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

Una parte de las aguas del río Cutuchi es trasladada por los canales de riego Latacunga-Salcedo-Ambato y Jiménez Cevallos. Unas 24.000 hectáreas de pastizales, sembradíos de hortalizas y legumbres son regadas con las aguas contaminadas en Cotopaxi y Tungurahua.

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

Las concentraciones del OD en la MRC son muy bajas, pero esto difiere en épocas lluviosas y épocas secas, al existir poca concentración de OD provoca la ausencia de vida acuática lo que dificulta la realización de la fotosíntesis y la respiración celular dentro de los procesos bióticos y abióticos, siendo el oxígeno un requisito nutricional esencial para la mayoría de los organismos, es importante medir las variaciones por unidad de tiempo que afectan su concentración y distribución. Los niveles de oxígeno también pueden ser reducidos a través de la sobre fertilización de las plantas por la fuga desde los campos de los fertilizantes conteniendo estos nitratos y fosfatos. Un adecuado nivel de oxígeno disuelto es necesario para una buena calidad del agua. El oxígeno es un elemento necesario para todas las formas de vida.

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

Debido a esta problemática se ha visto en la necesidad de recurrir a nuevos métodos de muestreo para poder controlar distintos puntos, así tenemos a la geoestadística que es una herramienta imprescindible cuando se desea analizar los patrones de distribución espacial de las variables ecológicas y medioambientales a partir de muestreos realizados en el área de interés.

La geoestadística comprende a un conjunto de herramientas y técnicas que sirven para analizar y predecir los valores de una variable que se muestra distribuida en el espacio o en el tiempo de una forma continua. Aunque la geoestadística ha supuesto una mejora considerable en la representación gráfica aplicada a la ecología y a las ciencias ambientales, para conseguir unos buenos resultado, es preciso conocer sus fundamentos y las asunciones sobre las que se basa (Moral García, 2004).

5. OBJETIVOS

GENERAL

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

ESPECÍFICOS

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

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

Tabla 2: Actividades en relación con los objetivos planteados

OBJETIVOS	ACTIVIDAD	RESULTADOS	DESCRIPCIÓN
Examinar los datos obtenidos previamente a la aplicación técnica de interpolación matemática y geoestadística.	Realizar el Análisis exploratorio de datos para observar el comportamiento de las dos bases de datos de la UTC y de la SEK.	Se observó que los datos tenían una variabilidad muy alta en su distribución, sus valores eran asimétricos.	Se optó por clasificar a la base de datos de la UTC en época seca y época lluviosa logrando que los datos presenten menos variabilidad y aporten mejor en el análisis de interpolación.
Realizar el análisis comparativo de los métodos de interpolación mediante indicadores de desempeño.	Ingresar los datos previos analizados en el software Surfer para obtener el mejor interpolador con menor error.	Se obtuvo los tres mejores interpoladores para las dos bases de datos que fueron: Regresión polinómica, Distancia Inversa Ponderada y Kriging a pesar de que los valores son muy altos y no son aceptables.	El resultado de las interpolaciones con Surfer fue valorado con el Error Medio Cuadrático (EMC) que mide la cantidad de error que hay entre dos conjuntos de datos. En otras palabras, compara un valor predicho y un valor observado o conocido.
Elaborar los mapas de distribución espacial del OD 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 del OD en la MRC.	Se interpretó los mapas de acuerdo a los sitios muestreados para identificar que foco contaminante existe en cada punto.

7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA

7.1. CARACTERIZACIÓN Y CONTAMINACIÓN DEL RÍO CUTUCHI

El río Cutuchi, está ubicado en la provincia de Cotopaxi, cantón Latacunga, sus aguas provienen de los páramos del Cotopaxi, su recorrido es de norte a sur, atraviesa poblaciones, industrias y centro poblado del cantón Latacunga, todos estos centros desfogon en el río sus aguas servidas sin un tratamiento previo, continua su recorrido atravesando los cantones de Salcedo, Ambato hasta su conexión con el río Ambato; lo que quiere decir que sus aguas irrigan dos provincias (Tapia, 2013). La subcuenca del río Cutuchi es parte de la cuenca del río Pastaza. Gran parte de la provincia de Cotopaxi, y parte de la provincia de Tungurahua se encuentra atravesada por el río Cutuchi, el cual nace en el lado occidental del volcán Cotopaxi, llegando hasta el cantón Píllaro. Tiene un área de cuenca de 2677 km² y una longitud de 60 km aproximadamente.

La situación actual del río Cutuchi se la puede calificar de caótica, sus aguas representan un foco infeccioso para los campos, la ganadería y el consumo humano, se ha llegado a este punto por el descuido de las autoridades, por la falta de previsión de las industrias localizadas a lo largo del río y por el desorden en la planificación de asentamientos humanos, que han visto en el río un medio de desfogue de todas las aguas servidas, tanto del sector poblacional como industrial (MAE, 2017). La situación contaminante que sufre el río Cutuchi, podemos afirmar, se produce un daño ambiental visible y virulento, con responsabilidad directa de las autoridades municipales, de la prefectura, gobernación, del área de salud y otras que tienen obligaciones ambientales y que hasta el momento no han realizado ninguna acción.

Según el estudio, las aguas del río están contaminadas por elementos naturales y por acción del hombre. Lo primero es provocado por las sales y la alta alcalinidad y dureza del agua en todo el trayecto, que proviene del contacto del líquido con las formaciones volcánicas de la región. Hay presencia de boro (químico que causa trastornos neurológicos y tumores) y aumenta después con el río Pumacunchi. La contaminación humana añade la investigación que se manifiesta por una alta concentración de grasas y aceites, especialmente en el tramo que atraviesa la zona urbana de Latacunga. No hay tratamiento de las aguas residuales de uso doméstico, las cuales (unos 30.000 metros cúbicos por día) son vertidas a los cauces de los ríos Cununyacu, Yanayacu, Pumacunchi y Cutuchi.

Tampoco hay un manejo adecuado de los desechos sólidos, se estima que diariamente 1,8 toneladas de escombros y basura se arrojan a los cauces mencionados. La contaminación de Latacunga afecta gravemente a los sistemas de riego Latacunga- Salcedo-Ambato y Jiménez Cevallos, que captan directamente las aguas servidas de la ciudad.

La calidad del río Cutuchi se deteriora, significativamente, a partir de Latacunga, hasta la confluencia del río Yanayacu. Los técnicos recomiendan solucionar la contaminación provocada por Latacunga, pues en este cantón hay 41 industrias metalúrgicas, curtiembres, molineras, talleres de ensamblaje, aglomerados, bebidas, procesamiento de carnes, floricultoras, plásticos y embutidos que son responsables de la infección del Cutuchi (SENAGUA, 2017).

El río Cutuchi, uno de los principales afluentes de la provincia de Cotopaxi, está contaminado. Según un informe de la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA), entre los elementos tóxicos que sobrepasan la norma ambiental vigente están cromo, manganeso, selenio y arsénico. Este último es altamente contaminante.

7.2. PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUA

Los procesos disponibles para mejorar la calidad del agua son muchos y muy diferentes, evidentemente a nosotros sólo nos interesan en este documento aquellos que tiene que ver con la ósmosis inversa, pero los parámetros utilizados para conocer y evaluar la calidad del agua son importantes y debemos describirlos.

No vamos a desarrollar los sistemas de medición de cada uno de ellos, ya que no es propio del estudio, pero profundizaremos en aquellos que son más importantes.

7.2.1. Parámetros Físicos

Sabor y Olor

Estos parámetros son determinaciones organolépticas y de determinación subjetiva, para dichas observaciones no existen instrumentos de observación, ni registro, ni unidades de medida.

Las aguas adquieren un sabor salado a partir de 300 ppm de Cl⁻, un gusto salado y amargo con más de 450 ppm de SO₄, y el CO₂ libre en el agua le da un gusto picante.

Color

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

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

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

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

Turbidez

Es la dificultad del agua para transmitir la luz debido a materiales insolubles en suspensión, coloidales o muy finos y que se presentan principalmente en aguas superficiales, en general son muy difíciles de filtrar y pueden dar lugar a depósitos en las conducciones.

La medición se hace por comparación con la turbidez inducida por diversas sustancias, la medición en ppm de SiO₂ ha sido muy utilizada, pero se aprecian variaciones según la sílice y la técnica empleadas.

7.2.2. Parámetros Químicos

pH

Es la medida de la concentración de los iones hidrógeno. Nos mide la naturaleza ácida o alcalina de la solución acuosa. La mayoría de las aguas naturales tienen un pH entre 6 y 8.

Dureza

La dureza se debe a la presencia de sales de calcio y magnesio y mide la capacidad de un agua para producir incrustaciones, afecta tanto a las aguas domésticas como a las industriales.

Las aguas con menos de 50 ppm de CaCO_3 (carbonato de calcio) se llaman blandas.

- ✓ Hasta 100 ppm de CaCO_3 , ligeramente duras.
- ✓ Hasta 200 ppm de CaCO_3 , moderadamente duras.
- ✓ Y a partir de 200 ppm de CaCO_3 , muy duras.

Alcalinidad

La alcalinidad es una medida de neutralizar ácidos. Contribuyen principalmente a la alcalinidad de una solución acuosa los iones bicarbonato (HCO_3^-), carbonato (CO_3^{2-}), y oxidrilo (OH^-), pero también los fosfatos, ácido silícico u otros ácidos de carácter débil. Su presencia en el agua puede producir CO_2 en el vapor de calderas que es muy corrosivo y también puede producir espumas, arrastre de sólidos con el vapor de calderas, etc. Se mide en las mismas unidades que la dureza. Se corrige por descarbonatación con cal, tratamiento ácido o desmineralización por intercambio iónico.

Sólidos Disueltos

Los sólidos disueltos o salinidad total, es una medida de la cantidad de materia disuelta en el agua. El origen puede ser múltiple tanto en las aguas subterráneas como en las superficiales.

Para las aguas potables se fija un valor máximo deseable de 500 ppm, este dato por sí sólo no es suficiente para catalogar la bondad del agua. El proceso de tratamiento, entre otros, es la ósmosis inversa.

Sólidos en Suspensión

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

Sólidos Totales

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

Cloruros

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

Sulfatos

El ión sulfato (SO_4), corresponde a sales de moderadamente solubles a muy solubles. Las aguas dulces contienen entre 2 y 250 ppm y el agua de mar alrededor de 3.000 ppm. Recordemos, como ya hemos dicho, que el agua pura se satura de CaSO_4 a unas 1.500 ppm, lo que ocurre es que la presencia de otras sales de calcio aumenta la solubilidad.

Nitratos

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

Aguas con infiltraciones de zona de riego con contaminación por fertilizantes pueden tener hasta varios centenares de ppm. Su presencia junto con fosfatos, en aguas superficiales, provocan la aparición de un excesivo crecimiento de algas es lo que se conoce como eutrofización.

Fosfatos

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

Gases Disueltos

El dióxido de carbono, CO_2 , es un gas relativamente soluble que se hidroliza formando iones bicarbonato y carbonato, en función del pH del agua. Las aguas subterráneas profundas pueden contener hasta 1.500 ppm pero las superficiales se sitúan entre 1 y 30 ppm, un exceso hace que el agua sea corrosiva.

7.2.3. Parámetros biológicos

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

Este tipo de contaminación es más difícil de controlar que la química o física y además los tratamientos deben estar regulándose constantemente.

Demanda Biológica de Oxígeno (DBO)

Mide la cantidad de oxígeno consumido en la eliminación de la materia orgánica del agua mediante procesos biológicos aerobios, se suele referir al consumo en 5 días (DBO^5), también suele emplearse, pero menos el (DBO^{21}) de 21 días. Se mide en ppm de O_2 que se consume.

Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Mide la capacidad de consumo de un oxidante químico, dicromato, permanganato, etc. Por el total de materias oxidables orgánicas e inorgánicas. Es un parámetro más rápido que el anterior ya que es de medición casi inmediata, la unidad de medida son ppm de O_2 .

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

7.2.4. Parámetros Bacteriológicos

De todo el mundo es conocido que el "gran enemigo" es la bacteria *Escherichia coli* y el grupo de los coliformes en su conjunto. Generalmente se emplea un grupo de bacterias como indicadores de contaminación, esto es una práctica generalizada en todo el mundo, se supone que la no presencia de estas bacterias hace que el agua sea potable bacteriológicamente hablando.

Son:

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

7.3. EL OXÍGENO DISUELTO (OD)

EL oxígeno disuelto ha sido uno de los constituyentes no conservativos más estudiados en ecosistemas acuáticos (Josabeth., 2015). Este es un requisito nutricional esencial para la mayoría de los organismos vivos, dada su dependencia del proceso de respiración aeróbica para la generación de energía y para la movilización del carbono en la célula. Además, el oxígeno disuelto es importante en los procesos de: fotosíntesis, oxidación reducción, solubilidad de minerales y la descomposición de materia orgánica. Los niveles de OD necesarios para sostener la vida de organismos acuáticos varían de una especie a otra.

Las truchas, por ejemplo, requieren concentraciones mayores a 4.0 mg/l para permanecer saludables, mientras que muchas especies de crustáceos pueden vivir y reproducirse en ambientes acuáticos donde la concentración de oxígeno disuelto oscila entre 2.0 y 0.1 mg/l. (Josabeth., 2015).

Por otro lado, existe una gran variedad de microorganismos (bacterias, hongos y protozoarios) para los cuales el oxígeno no es indispensable (anaerobios facultativos), otros no lo utilizan, siendo indiferentes a su presencia (aerotolerantes) e incluso, para algunos el oxígeno resulta ser tóxico o inhibitorio para el crecimiento (anaerobios estrictos). La distribución del oxígeno en cuerpos de agua naturales está determinada por el intercambio gaseoso a través de la superficie del agua, la producción fotosintética, el consumo respiratorio y por procesos físicos de advección (movimiento horizontal del aire causado principalmente por variaciones de la presión atmosférica cerca de la superficie) y difusión.

Siendo el oxígeno un requisito nutricional esencial para la mayoría de los organismos, es importante medir las variaciones por unidad de tiempo de los procesos bióticos (fotosíntesis y respiración celular) y abióticos que se desarrollan in situ, que afectan su concentración y distribución. Es conveniente conocer dichas variaciones, si nos interesa construir modelos dinámicos del funcionamiento de comunidades acuáticas. (Josabeth., 2015).

Los peces y los animales acuáticos no pueden diferenciar el oxígeno del agua (H₂O) o de otros compuestos que contengan oxígeno. Solo las plantas verdes y algunas bacterias pueden hacerlo a través de la fotosíntesis y procesos similares. Virtualmente el oxígeno que nosotros respiramos es producido por las plantas verdes. Un total de las tres cuartas partes del oxígeno de la tierra es producido por el fitoplancton en los océanos.

Tabla 3: Rangos de concentración de oxígeno disuelto y consecuencias ecosistémicas frecuentes.

[OD] mg/l	CONDICIÓN	CONSECUENCIA
0	Anoxia	Muerte masiva de organismos aerobios
0-5	Hipoxia	Desaparición de organismos y especies sensibles
5-8	Aceptable	[OD] adecuadas para la vida de la gran mayoría de especies de peces y otros
8-12	Buena	organismos acuáticos
>12	Sobresaturada	Sistemas en plena producción fotosintética.

Fuente: Red de Monitoreo Ambiental Participativo de Sistemas Acuáticos

El efecto de la temperatura

Si el agua está demasiado caliente no habrá suficiente oxígeno en el agua. Cuando hay muchas bacterias o minerales acuáticos en el agua, forman una sobrepoblación, usando el OD en grandes cantidades. Los niveles de oxígeno también pueden ser reducidos a través de la sobre fertilización de las plantas por la fuga desde los campos de los fertilizantes conteniendo estos nitratos y fosfatos. Bajo de estas condiciones, el número y el tamaño de las plantas acuáticas aumenta en gran cantidad. Entonces, si el agua llega a estar turbia por algunos días, la respiración de las plantas utilizara mucho del OD disponible. Cuando las plantas mueran, ellas llegaran a ser comida para bacterias, las cuales tendrán alta multiplicación y usaran grandes cantidades de oxígeno.

La cantidad de OD en el agua que necesita un organismo depende de la especie de éste, su estado físico, la temperatura del agua, los contaminantes presentes, y más. Consecuentemente por esto es imposible predecir con precisión el mínimo nivel de oxígeno disuelto en el agua para peces específicos y animales acuáticos.

Por ejemplo, a 5°C (41°F), la trucha usa sobre 50-60 miligramos (mg) de oxígeno por hora, a 25°C (77°F), ellas deberían necesitar cinco o seis veces esa cantidad.

Los peces son de sangre fría, por lo que ellos utilizan más oxígeno en temperaturas altas cuando su velocidad metabólica aumenta. Numerosos estudios científicos sugieren que 4-5 partes por millón (ppm) de oxígeno disuelto es la mínima cantidad que soportara una gran y diversa población de peces. El nivel de OD en las buenas aguas de pesca generalmente tiene una media de 9.0 partes por millón (ppm).

Impacto Medio ambiental

El total de los gases concentrados en el agua no debería exceder el 110%. Las concentraciones sobre este nivel pueden ser peligrosas para la vida acuática.

Los peces en agua que contiene excesivos gases disueltos podrían sufrir "la enfermedad de la burbuja de gas", sin embargo, esto es de muy rara ocurrencia. Las burbujas o el bloqueo de embolo que sufre el flujo de la sangre a través de los vasos sanguíneos causan la muerte.

Las burbujas externas, llamadas enfisemas pueden también ocurrir y ser vistas en aletas, en la piel o en otros tejidos. Los invertebrados acuáticos están también afectados por la enfermedad de las burbujas de gas, pero en niveles más altos que aquellas letales para los peces. Un adecuado nivel de OD es necesario para una buena calidad del agua. El oxígeno es un elemento necesario para todas las formas de vida.

Los torrentes naturales para los procesos de purificación requieren unos adecuados niveles de oxígeno para proveer a las formas de vida aeróbicas. Como los niveles de OD en el agua bajen de 5.0 mg/l, la vida acuática es puesta bajo presión. La menor concentración, la mayor presión. Niveles de oxígeno que continúan debajo de 1-2 mg/l por unas pocas horas pueden resultar en grandes cantidades de peces muertos. Biológicamente hablando, sin embargo, el nivel del oxígeno es mucho más importante medida de calidad del agua que las coliformes fecales. El oxígeno disuelto es absolutamente esencial para la supervivencia de todos los organismos acuáticos (no sólo peces también invertebrados como cangrejos, almejas, zooplancton, etc.). Además, el oxígeno afecta a un vasto número de indicadores, no solo bioquímicos, también estéticos como el olor, claridad del agua, y sabor. Consecuentemente, el oxígeno es quizás el más estabilizado de los indicadores de calidad de agua.

Cómo el oxígeno disuelto afecta al suministro de agua

Un alto nivel de OD en una comunidad de suministro de agua es bueno porque esto hace que el gusto del agua sea mejor. Sin embargo, los niveles altos de OD aumentan la velocidad de corrosión en las tuberías de agua. Por esta razón, las industrias usan agua con la mínima cantidad posible de OD. Agua usada en calderas de muy baja presión no tienen más de 2.0 ppm de oxígeno disuelto, pero muchas plantas de calderas intentan mantener los niveles de oxígeno en 0.007 ppm o menos.

Determinación del oxígeno disuelto en agua

Método yodométrico - modificación de azida

Las concentraciones de OD en aguas naturales dependen de las características fisicoquímicas y la actividad bioquímica de los organismos en los cuerpos de agua. El análisis del OD es clave en el control de la contaminación en las aguas naturales y en los procesos de tratamiento de las aguas residuales industriales o domésticas (SAWYER & McCARTY, 1996)

La muestra obtenida se trata con sulfato manganoso ($MnSO_4$), hidróxido de sodio ($NaOH$) y yoduro de potasio (KI), estos dos últimos reactivos combinados en una solución única, y finalmente se acidifica con ácido sulfúrico (H_2SO_4). Inicialmente se obtiene un precipitado de hidróxido manganoso, $Mn(OH)_2$, el cual se combina con el OD presente en la muestra para formar un precipitado carmelito de hidróxido mangánico, $MnO(OH)_2$; con la acidificación, el hidróxido mangánico forma el sulfato mangánico que actúa como agente oxidante para liberar yodo del yoduro de potasio. El yodo libre es el equivalente estequiométrico del OD en la muestra y se valora con una solución estándar de tiosulfato de sodio 0.025N. Para minimizar el efecto de los materiales interferentes existen algunas modificaciones del método yodométrico. La modificación de la azida elimina la interferencia causada por los nitritos (esta es la más común en efluentes tratados biológicamente y en muestras incubadas para la prueba de la DBO); se emplea en el análisis del OD en la mayoría de aguas residuales, efluentes y aguas superficiales, especialmente si las muestras tienen concentraciones mayores de $50 \mu g NO_2^-$ -N/L y no más de 1 mg de hierro ferroso/L. Los compuestos oxidantes y reductores interfieren en la determinación (RODIER, 1990).

7.4. ANÁLISIS EXPLORATORIO DE DATOS (AED)

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

7.4.1. MEDIDAS DE RESUMEN

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

7.4.1.1. Media

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

7.4.1.2. Desviación Estándar

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

7.4.1.3. Error Estándar

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

7.4.1.4. Coeficiente de Variación

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

7.4.1.5. Mediana

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

7.4.1.6. Cuartil

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

7.4.1.7. Asimetría

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

7.4.1.8. Curtosis

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

7.4.2. GRÁFICAS ESTADÍSTICAS

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

7.4.2.1. Gráfico de cajas box-plot

El gráfico de caja (“box-plot” en inglés) es una forma de presentación estadística destinada, fundamentalmente, a resaltar aspectos de la distribución de las observaciones en una o más series de datos cuantitativos. Permiten conocer cómo se distribuyen los datos dentro de una variable. A diferencia de los histogramas que requieren un tamaño de muestra de al menos 30 casos para ser útiles, los gráficos de caja pueden ser 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, Early sample measures of variability Statist Sci, 2012). Este gráfico brinda información sobre la forma general de la curva: simetría, curtosis (curvas más “afinadas” o más “aplanadas”), el punto de la mediana, la distribución de las observaciones a ambos lados de los valores centrales y la presencia (y el/los valores/es) de valores atípicos.

Se insiste que este gráfico no refiere la frecuencia para cada valor; pero, sí, con los elementos señalados se puede inferir cómo se distribuyen esas frecuencias a lo largo de la escala de referencia. El gráfico de caja es una buena alternativa a la presentación tradicional de datos medidos con escala cuantitativa: el histograma. En éste algunas características de la distribución pueden quedar enmascaradas por la construcción de los intervalos de clase; como, por ejemplo: los valores de la escala que corresponden al 50 % de las observaciones centrales y al 25 % de las observaciones de cada lado, el valor de la mediana, los valores de observaciones muy apartadas de las posiciones centrales, etc. Es decir, es una presentación que agrega a las ventajas de los gráficos (rápida comprensión visual) algunas referencias estadísticas (Murray, 1997).

7.5. INTERPOLACIÓN

En el subcampo matemático del análisis numérico, se denomina interpolación a la obtención de nuevos puntos partiendo del conocimiento de un conjunto discreto de puntos. La interpolación consiste en hallar un dato dentro de un intervalo en el que conocemos los valores en los extremos.

7.5.1. INTERPOLADORES MATEMÁTICOS

7.5.1.1. Distancia Inversa Ponderada – Inverse Distance weighted

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

7.5.1.2. Curvatura mínima - Minimun curvature

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

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

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

7.5.1.4. Vecino natural – Natural Neighbor

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

7.5.1.5. El vecino más cercano - Nearest Neighbor

El método de vecinos más cercanos predice el valor de un atributo en un punto no muestreado basado en el valor de la muestra más cercana, dibujando perpendicularmente bisectrices entre puntos muestreados, formando polígonos de Thiessen (Li, 2008).

7.5.1.6. Regresión polinómica – Polynomial regression

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

7.5.1.7. Base Radial – Radial basis

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

7.5.1.8. Triangulación con interpolación lineal – Triangulation with Linear Interpolation

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

7.5.1.9. Medias móviles – Moving Average

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

7.5.1.10. Métrica de datos – Data Metrics

La métrica de datos es un método que se basa en la creación de grillas de información de los datos observados. Se definen conjuntos de datos asociados a la grilla y sobre ellos se realiza la búsqueda de parámetros estadísticos (desviación estándar, varianza y coeficiente de variación) aplicada a cada nodo y al conjunto de datos asociados para luego usarlos en la estimación (Yang, 2004).

7.5.1.11. Polinomio local – Local Polynomial

El método Polinomio Local asigna valores usando un ajuste de mínimos cuadrados ponderados, con datos dentro de la elipse de búsqueda de la cuadrícula (Yang, 2004).

7.6. MÉTODOS GEOESTADÍSTICOS

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

Aunque la geo estadística ha supuesto una mejora considerable en la representación gráfica aplicada a la ecología y a las ciencias ambientales, para conseguir unos buenos resultado, es preciso conocer sus fundamentos y las asunciones sobre las que se basa. Como ejemplo de aplicación de la geo estadística se estudia la distribución de una plaga en una parcela experimental (Moral García, 2004).

Geoestadística

La geoestadística comprende a un conjunto de herramientas y técnicas que sirven para analizar y predecir los valores de una variable que se muestra distribuida en el espacio o en el tiempo de una forma continua.

Debido a su aplicación orientada a los SIG, también se podría definir como la estadística relacionada con los datos geográficos, de ahí que se le conozca además como estadística espacial (Moral García, 2004).

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

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

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

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

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

Este método es más adecuado cuando se sabe que hay una influencia direccional o de la distancia correlacionada espacialmente en los datos. Se utiliza a menudo en la ciencia del suelo y la geología (Deus, 2016).

7.6.1. INTERPOLADOR GEOESTADÍSTICO

7.6.1.1. Kriging

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

8. HIPÓTESIS

Hipótesis Alternativas

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

Hipostasis Nulas

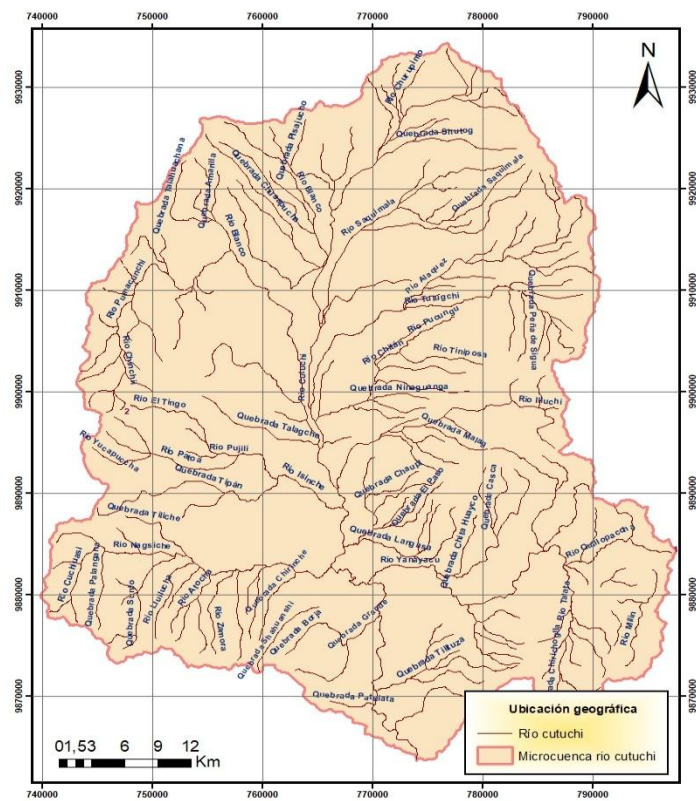
Los resultados de los métodos de interpolación no permitirán conocer la distribución espacial de la concentración del Oxígeno Disuelto en la microcuenca del río Cutuchi.

9. METODOLOGÍA

9.1. ÁREA DE ESTUDIO

La zona de estudio comprende el área que abarca MRC, la cual es parte de la cuenca del río Pastaza. Este afluente nace en los paramos de los deshielos del volcán Cotopaxi, recorre de norte a sur la provincia del mismo nombre. (Telégrafo, 2015). La microcuenca tiene un área de cuenca de 2677 km² y una longitud de 60 km aproximadamente.

Mapa 1: Ubicación geográfica de la Microcuenca del río Cutuchi



Fuente: Estrada, J (2018)

Para el análisis del mejor método de interpolación del OD en la MRC, se trabajó con tres bases de datos: INHAMI (2008 – 2013), UTC (sept 2011 - julio 2011), SEK (20017 – 2018), para lo cual se seleccionaron 13 puntos de control aleatoriamente de los 13 puntos de la base de datos de la UTC, para la base de datos de la SEK se seleccionaron 3 puntos de control aleatoriamente de las 3 muestras obtenidas en 7 puntos, no se trabajó con la base de datos del INHAMI ya que tenía solo dos coordenadas y no era factible la interpolación.

9.2. ANÁLISIS EXPLORATORIO DE DATOS

Es un modelo teórico que nos permitió establecer un buen entendimiento básico del comportamiento del OD con las bases de datos de la UTC y de la SEK obtenidos de la MRC, dicho análisis se basó en técnicas estadísticas y gráficas, los cuales nos permitieron explorar la distribución del OD identificando características tales como: valores atípicos o outliers, saltos o discontinuidades, concentraciones de valores, forma de la distribución, etc.

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

9.3. PROCESAMIENTO CON SURFER

Una vez realizado el análisis exploratorio con las medidas de resumen e identificado el comportamiento de los datos se procedió a realizar las interpolaciones en el Software Surfer el cual incluye 12 tipos de interpoladores con los cuales se trabajó para poder obtener el rendimiento de cada uno de ellos e identificar cual de todos estos métodos es el que más se ajusta a nuestro estudio.

9.4. VALIDACION DEL MÉTODO

La validación del método, es el proceso por el cual se demostrará que los procedimientos realizados con anterioridad son aptos para el uso indicado. Es importante conocer cuál de los métodos empleados para la interpolación de datos sobre la concentración del OD en la MRC resulta mejor. La validación del método nos ayuda a verificar la eficacia y las características de desempeño de los estimadores de interpolación (Melo, 2012); por lo que fue valorado con el Error Medio Cuadrático (EMC) que mide la cantidad de error que hay entre dos conjuntos de datos. En otras palabras, compara un valor predicho y un valor observado o conocido.

La fórmula de cálculo del EMC se muestra a continuación:

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

Donde:

n = número de datos

A_t = valor predicho (datos interpolados)

F_t = valor observado o conocido (datos reales)

9.5. MAPAS DE INTERPOLACION

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

Los mapas de interpolación del OD en la MRC tanto para época seca como para época lluviosa se realizaron con el Software ArcGIS. Para la mejor interpretación de los resultados, el cauce del río que pertenece a la parte del 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 y en teoría esto no debería afectar a otros afluentes.

Se utilizó el interpolador geoestadístico 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 para ver la distribución de los datos con el histograma y así podremos observar si éstos están distribuidos normalmente; si no existiera una buena distribución se hace una transformación logarítmica para intentar que los datos se ajusten a lo requerido y la media y la mediana sean parecidas.

10. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

10.1. ANÁLISIS EXPLORATORIO DE DATOS

Para esta parte se utilizó el Software estadístico InfoStat a las 2 bases de datos de la UTC y la SEK, para evaluar: la calidad de datos, explorar la distribución y detectar el patrón de comportamiento del OD; identificando características tales como: valores atípicos o outliers mediante gráficos como el blox-plot.

10.1.1. Base de Datos UTC

Para el estudio se recopilaron datos de muestreos previos del OD en la MRC, el muestreo se realizó desde septiembre – julio del 2011 entre épocas seca y lluviosa (Tabla 4).

Tabla 4: Puntos de muestreo tomados por la Universidad Técnica de Cotopaxi, sept 2011 - julio 2011

PUNTOS	X	Y	OD	PUNTOS	X	Y	OD	PUNTOS	X	Y	OD
P1	766188	9917672	12,00	P2	766323	9915180	23,00	P3	763440	9901733	53,00
P1	766188	9917672	13,00	P2	766323	9915180	32,80	P3	763440	9901733	45,76
P1	766188	9917672	14,00	P2	766323	9915180	1,15	P3	763440	9901733	47,30
P1	766188	9917672	1,46	P2	766323	9915180	1,15	P3	763440	9901733	40,00
P1	766188	9917672	22,00	P2	766323	9915180	24,60	P3	763440	9901733	38,00
P1	766188	9917672	24,30	P2	766323	9915180	22,10	P3	763440	9901733	48,50
P1	766188	9917672	71,50	P2	766323	9915180	53,70	P3	763440	9901733	45,76
P1	766188	9917672	2,90	P2	766323	9915180	2,43	P3	763440	9901733	45,76
P1	766188	9917672	43,10	P2	766323	9915180	43,40	P3	763440	9901733	45,76
P1	766188	9917672	36,20	P2	766323	9915180	36,30	P3	763440	9901733	55,60
P1	766188	9917672	19,30	P2	766323	9915180	28,00	P3	763440	9901733	44,90
P4	765089	9895459	39,10	P5	772129	9918060	39,10	P6	772393	9918447	29,00
P4	765089	9895459	39,10	P5	772129	9918060	1,34	P6	772393	9918447	27,00
P4	765089	9895459	35,00	P5	772129	9918060	1,46	P6	772393	9918447	13,40
P4	765089	9895459	39,10	P5	772129	9918060	72,00	P6	772393	9918447	1,00
P4	765089	9895459	36,00	P5	772129	9918060	72,00	P6	772393	9918447	13,40
P4	765089	9895459	39,10	P5	772129	9918060	72,00	P6	772393	9918447	17,10
P4	765089	9895459	1,20	P5	772129	9918060	1,57	P6	772393	9918447	38,30
P4	765089	9895459	39,00	P5	772129	9918060		P6	772393	9918447	2,81
P4	765089	9895459	0,97	P5	772129	9918060	0,74	P6	772393	9918447	26,80
P4	765089	9895459	14,20	P5	772129	9918060	16,40	P6	772393	9918447	30,00
P4	765089	9895459	26,60	P5	772129	9918060	16,80	P6	772393	9918447	13,80

PUNTOS	X	Y	OD	PUNTOS	X	Y	OD	PUNTOS	X	Y	OD
P7	765330	9906313	21,80	P8	764315	9898242	36,30	P9	764948	9896593	35,50
P7	765330	9906313	30,20	P8	764315	9898242	1,25	P9	764948	9896593	1,52
P7	765330	9906313	20,10	P8	764315	9898242	36,70	P9	764948	9896593	1,65
P7	765330	9906313	1,27	P8	764315	9898242	36,30	P9	764948	9896593	41,70
P7	765330	9906313	20,10	P8	764315	9898242	36,30	P9	764948	9896593	41,70
P7	765330	9906313	23,50	P8	764315	9898242	36,30	P9	764948	9896593	41,70
P7	765330	9906313	27,66	P8	764315	9898242	36,07	P9	764948	9896593	1,74
P7	765330	9906313	3,20	P8	764315	9898242	34,90	P9	764948	9896593	47,90
P7	765330	9906313	33,20	P8	764315	9898242	0,93	P9	764948	9896593	1,18
P7	765330	9906313	48,10	P8	764315	9898242	16,40	P9	764948	9896593	17,70
P7	765330	9906313	35,70	P8	764315	9898242	15,40	P9	764948	9896593	17,80
P10	765588	9896070	41,40	P11	767312	9888504	29,00	P12	767373	9888511	18,00
P10	765588	9896070	1,09	P11	767312	9888504	29,00	P12	767373	9888511	25,00
P10	765588	9896070	1,12	P11	767312	9888504	35,00	P12	767373	9888511	30,00
P10	765588	9896070	19,00	P11	767312	9888504	30,00	P12	767373	9888511	35,00
P10	765588	9896070	19,00	P11	767312	9888504	55,00	P12	767373	9888511	50,00
P10	765588	9896070	19,00	P11	767312	9888504	46,70	P12	767373	9888511	42,70
P10	765588	9896070	1,64	P11	767312	9888504	1,38	P12	767373	9888511	1,48
P10	765588	9896070	46,20	P11	767312	9888504	52,30	P12	767373	9888511	53,10
P10	765588	9896070	1,26	P11	767312	9888504	1,21	P12	767373	9888511	1,50
P10	765588	9896070	16,50	P11	767312	9888504	16,10	P12	767373	9888511	17,10
P10	765588	9896070	16,30	P11	767312	9888504	16,00	P12	767373	9888511	17,60
P13	756640	9893828									
P13	756640	9893828	10,00								
P13	756640	9893828	25,00								
P13	756640	9893828	28,00								
P13	756640	9893828	28,00								
P13	756640	9893828	22,00								
P13	756640	9893828	64,80								
P13	756640	9893828	2,08								
P13	756640	9893828	34,50								
P13	756640	9893828	50,20								
P13	756640	9893828	41,20								

Fuente: Monitoreo calidad del agua Fundación Natura y UTC

10.1.1.1. AED de la base de datos de la UTC

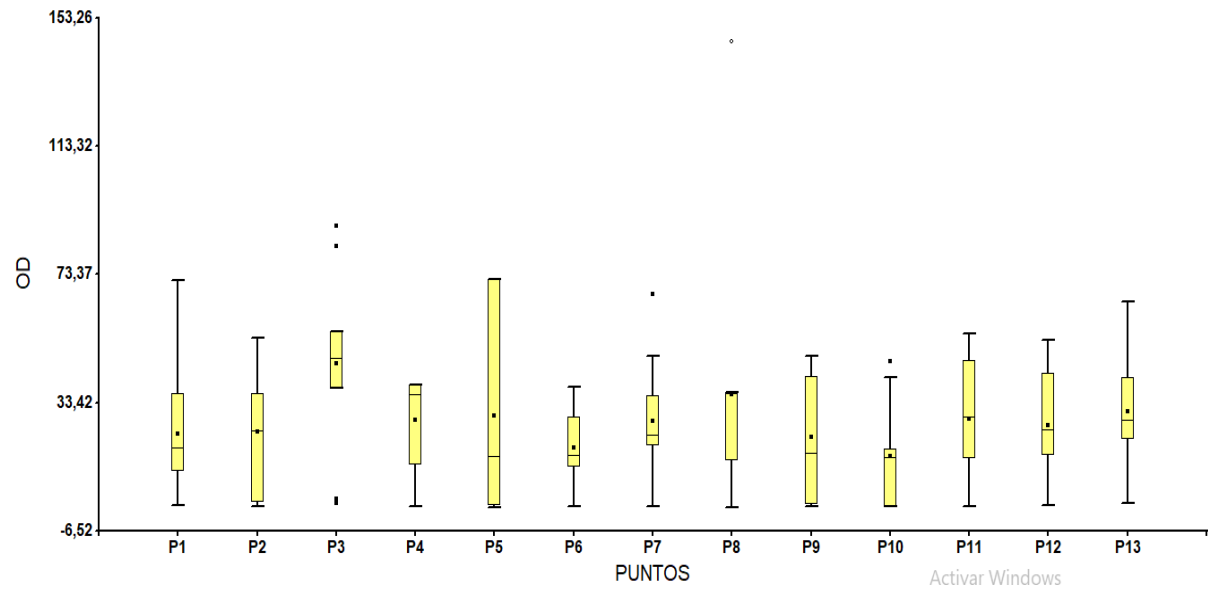
Se presentan las medidas de resumen para caracterizar el conjunto con la menor distorsión o pérdida de información posible mediante la generación de graficas que nos permiten detectar tanto las características sobresalientes como las características inesperadas.

Tabla 5: Medidas de resumen con los datos originales

PUNTO	VARIABLE	n	MEDIA	D.E	E. E	CV	MIN	MAX	MEDIANA	Q1	Q3	ASIMETRÍA	KURTOSIS	DATOS FALTANTES
P1	OD	11	23,61	20,28	6,11	85,88	1,46	71,5	19,3	12	36,2	1,4	0,83	0
P10	OD	11	16,59	15,65	4,72	94,3	1,09	46,2	16,5	1,26	19	0,86	-0,49	0
P11	OD	11	28,34	18,53	5,59	65,41	1,21	55	29	16	46,7	-0,08	-1,07	0
P12	OD	11	26,5	17,61	5,31	66,44	1,48	53,1	25	17,1	42,7	0,07	-1,07	0
P13	OD	10	30,58	18,37	5,81	60,08	2,08	64,8	28	22	41,2	0,36	-0,42	1
P2	OD	11	24,42	17,37	5,24	71,11	1,15	53,7	24,6	2,43	36,3	-0,04	-0,93	0
P3	OD	11	45,76	26,65	8,03	58,23	2,03	88,5	47,3	38	55,6	-0,21	-0,39	0
P4	OD	11	28,12	15,39	4,64	54,71	0,97	39,1	36	14,2	39,1	-1,17	-0,68	0
P5	OD	10	29,34	31,68	10,02	107,96	0,74	72	16,6	1,46	72	0,62	-1,47	1
P6	OD	11	19,33	11,82	3,56	61,14	1	38,3	17,1	13,4	29	-0,11	-1,03	0
P7	OD	11	27,66	18,8	5,67	67,98	1,27	67,1	23,5	20,1	35,7	0,67	0,04	0
P8	OD	11	36,07	39,18	11,81	108,61	0,93	146	36,3	15,4	36,3	2,49	3,97	0
P9	OD	11	22,74	19,3	5,82	84,89	1,18	47,9	17,8	1,65	41,7	0	-1,71	0

Fuente: Estrada, J (2018)

El análisis de las medidas de resumen de los datos iniciales de la UTC para los 13 puntos se presenta en la Tabla 5, como uno del resultado más significativo tomaremos como explicación el Punto 3, a pesar de que todos los datos presentan una distribución asimétrica. Se observa que la mediana es mayor que la media por lo tanto su distribución es asimétrica con cola a la izquierda. La dispersión de los datos alrededor de la media es baja (D. E=26,65), el error estándar (E. E=8,03) es relativamente alto por lo que hay un mayor porcentaje de error. Sin embargo, el coeficiente de variación (C.V) es grande (>20%), pudiendo evidenciarse valores atípicos (Gráfico 1). El rango del OD analizados va desde 2,03 a 88,5 mg/l (Tabla5). El cuartil 1 representa el 25% de los datos, en este caso tiene un valor de 38 y el cuartil 3 es de 55,6 lo que representa el 75% de los datos. La asimetría es de -0,21 como el valor es negativo los datos no son tan simétricos. El valor de la curtosis fue de -0,39 por lo tanto su distribución es platicúrtica (distribución no es normal).

Gráfico 1: Box-Plot con los datos originales

Fuente: Estrada, J (2018)

Se aplicó la función de gráfico en caja box-plot el mismo que nos permite verificar la presencia de outliers; como se observa en el Gráfico 1, la existencia de seis puntos fuera de rango por lo que es necesario eliminarlos y completarlos con la media.

Una vez analizado el comportamiento de los datos con las medidas de resumen y el box-plot se observó que estos tenían una variabilidad demasiado alta en su distribución en el espacio y en su uniformidad por su asimetría, optando por clasificar a la base de datos en época seca y época lluviosa, ya que en estas épocas los datos se comportan de manera variable por diferentes factores que alteran las muestras obtenidas; logrando que los datos presenten menos variabilidad y aporten mejor en el análisis de interpolación.

Medidas de resumen con los datos de la época seca.

Tabla 6: Medidas de resumen época seca

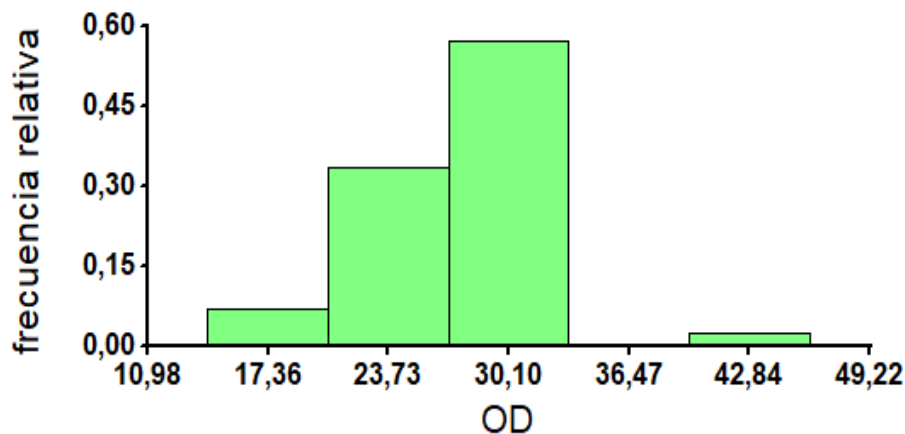
VARIABLE	n	MEDIA	D. E	E. E	C. V	Mín.	Máx.	MEDIANA	Q1	Q3	ASIMETRÍA	KURTOSIS	DATOS FALTANTES
OD	42	26,49	4,18	0,65	15,8	14,17	46,03	26,93	26,37	27,15	1,75	11,17	1

Fuente: Estrada, J (2018)

El análisis de las medidas de resumen para la época seca se presenta en la Tabla 6, la mediana es mayor que la media por lo tanto su distribución es asimétrica con cola a la izquierda. La dispersión de los datos alrededor de la media es baja (D. E=4,18), el error estándar (E. E=0,65)

es muy cercano a cero. Sin embargo, el coeficiente de variación (C.V) es pequeño ($<20\%$), por lo que no se evidencia valores atípicos (Gráfico 2). El rango del OD analizados va desde 14,17 a 46,03 mg/l (Tabla 6). El cuartil 1 representa el 25% de los datos, en este caso tiene un valor de 26,37 y el cuartil 3 es de 27,15 lo que representa el 75% de los datos. La asimetría es de 1,75 como el valor es positivo los datos son simétricos. El valor de la curtosis fue de 11,17 por lo tanto su distribución es leptocúrtica (distribución normal).

Gráfico 2: Histograma época seca



Fuente: Estrada, J (2018)

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

Medidas de resumen con los datos de la época lluviosa.

Tabla 7: Medidas de resumen época lluviosa

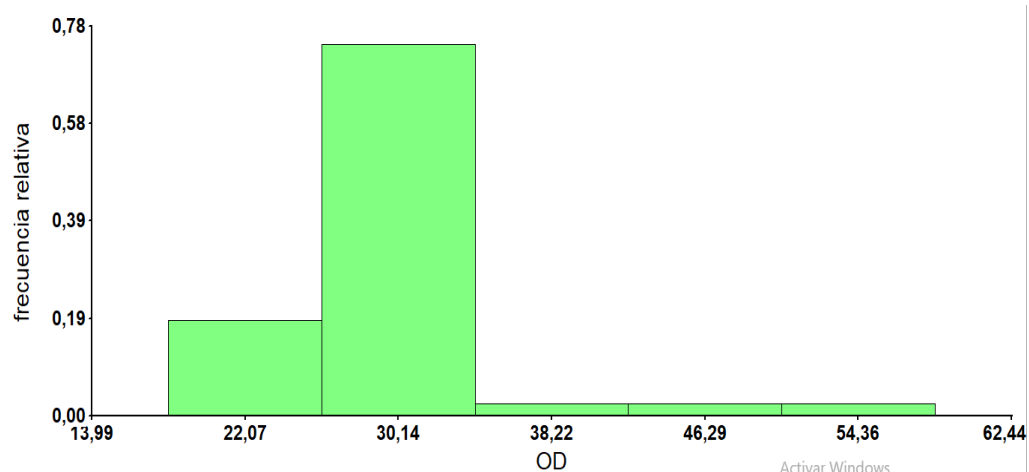
VARIABLE	n	MEDIA	D. E	E. E	C. V	Mín.	Máx.	MEDIANA	Q1	Q3	ASIMETRÍA	KURTOSIS	DATOS FALTANTES
OD	42	27,75	6,2	0,96	22,34	18,03	58,4	26,93	26,4	27,15	3,58	13,86	1

Fuente: Estrada, J (2018)

El análisis de las medidas de resumen para la época lluviosa se presenta en la Tabla 7, la mediana es menor que la media por lo tanto su distribución es asimétrica con cola a la derecha (Gráfico 3). La dispersión de los datos alrededor de la media es baja (D. E=6,2), el error estándar (E. E=0,96) es muy cercano a cero. Sin embargo, el coeficiente de variación (C.V) es pequeño ($<20\%$), por lo que no se evidencia valores atípicos. El rango del OD analizados va desde 18,03 a 58,4 mg/l (Tabla 7). El cuartil 1 representa el 25% de los datos, en este caso tiene un valor de 26,4 y el cuartil 3 es de 27,15 lo que representa el 75% de los datos.

La asimetría es de 3,58 como el valor es positivo los datos son simétricos. El valor de la curtosis fue de 13,86 por lo tanto su distribución es leptocúrtica (distribución normal).

Gráfico 3: Histograma época lluviosa



Fuente: Estrada, J (2018)

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

10.1.2. Base de datos de la SEK

Para el estudio se recopilaron datos de muestreos previos del OD en la MRC, el muestreo se realizó desde octubre - abril (20017 – 2018), entre épocas seca y lluviosa.

Tabla 8: Puntos de muestreo tomados por la Universidad SEK, octubre - abril (20017 – 2018).

PUNTOS	X	Y	OD
P1	755389	7852425	5,42
P1	755389	7852425	6,83
P1	755389	7852425	6,09
P1	755389	7852425	6,45
P1	755389	7852425	7,18
P1	755389	7852425	5,34
P1	755389	7852425	6,1
P2	766244	9917741	6,76
P2	766244	9917741	6,99
P2	766244	9917741	5,84
P2	766244	9917741	7,3
P2	766244	9917741	7,04

P2	766244	9917741	7,52
P2	766244	9917741	7,05
P3	765352	9895884	5,06
P3	765352	9895884	5,37
P3	765352	9895884	6,29
P3	765352	9895884	4,98
P3	765352	9895884	5,63
P3	765352	9895884	6,7
P3	765352	9895884	6,24

Fuente: Monitoreo calidad del agua Universidad SEK

10.1.2.1. AED de la base de datos de la SEK

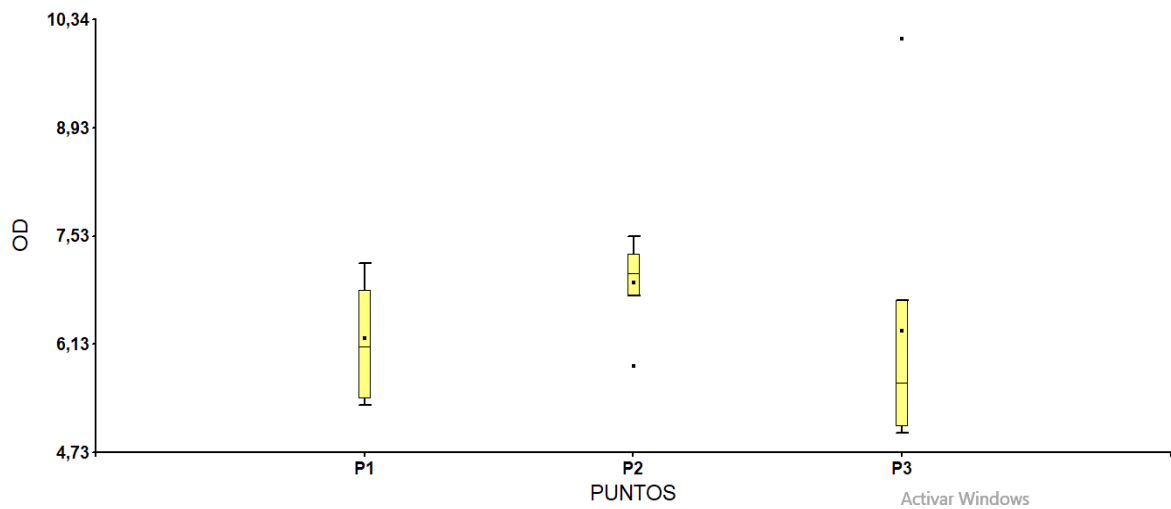
Obtendremos las medidas de resumen para caracterizar el conjunto de datos con la menor distorsión o pérdida de información posible. Luego representaremos el comportamiento de los datos que nos permiten detectar tanto las características sobresalientes como las características inesperadas.

Tabla 9: Medidas de resumen con los datos originales.

PUNTO	VARIABLE	n	MEDIA	D.E	E. E	CV	MIN	MAX	MEDIANA	Q1	Q3	ASIMETRÍA	KURTOSIS	DATOS FALTANTES
P1	OD	7	6,2	0,68	0,26	11	5,34	7,18	6,1	5,42	6,83	0,06	-1,2	0
P2	OD	7	6,93	0,54	0,2	7,75	5,84	7,52	7,04	6,76	7,3	-1,55	0,61	0
P3	OD	7	6,29	1,78	0,67	28,31	4,98	10,08	5,63	5,06	6,7	2,03	1,08	0

Fuente: Estrada, J (2018)

El análisis de las medidas de resumen de los datos de la SEK se presenta en la Tabla 9, como uno del resultado más significativo tomaremos como explicación el Punto 2. Se observa que la mediana es mayor que la media por lo tanto su distribución es asimétrica con cola a la izquierda. La dispersión de los datos alrededor de la media es baja (D. E=0,54), el error estándar (E. E=0,2) es muy cercano a cero. Sin embargo, el coeficiente de variación (C.V) es grande (>20%), pudiendo evidenciarse valores atípicos (Gráfico 4). El rango del OD analizados va desde 5,84 a 7,52 mg/l (Tabla 9). El cuartil 1 representa el 25% de los datos, en este caso tiene un valor de 6,76 y el cuartil 3 es de 7,3 lo que representa el 75% de los datos. La asimetría es de -1,55 como el valor es negativo los datos no son tan simétricos. El valor de la curtosis fue de 0,61 por lo tanto su distribución es leptocúrtica (distribución no es normal).

Gráfico 4: Box-Plot con los datos originales.

Fuente: Estrada, J (2018)

Se aplicó la función de gráfico en caja box-plot el mismo que nos permite verificar la presencia de outliers; como se observa en el Gráfico 4, la existencia de 2 puntos fuera de rango por lo que es necesario eliminarlos y completarlos con la media.

Una vez analizado el comportamiento de los datos con las medidas de resumen y el box-plot se observó que éstos no tenían una variabilidad alta, su distribución en el espacio y su uniformidad son adecuados para realizar la interpolación por lo que a esta base de datos no se optó por clasificarla en épocas, se trabajó con la misma base de datos, pero eliminando los valores atípicos.

Tabla 10: Medidas de resumen con la normalización de datos.

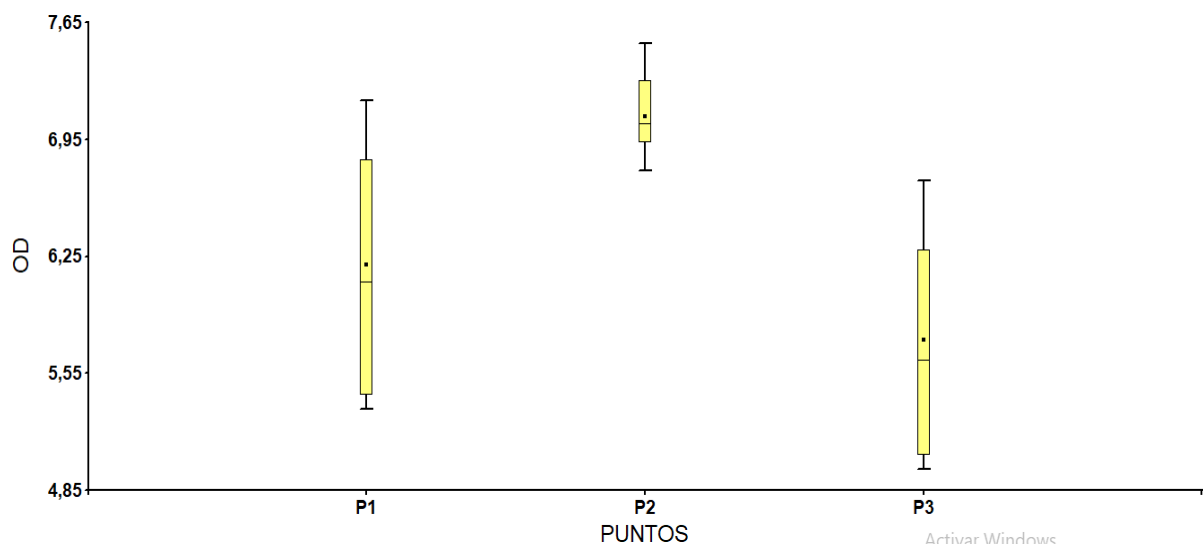
PUNTO	VARIABLE	n	MEDIA	D.E	E. E	CV	MIN	MAX	MEDIANA	Q1	Q3	ASIMETRÍA	KURTOSIS	DATOS FALTANTES
P1	OD	7	6,2	0,68	0,26	11	5,34	7,18	6,1	5,42	6,83	0,06	-1,2	0
P2	OD	7	7,08	0,25	0,09	3,54	6,76	7,52	7,04	6,93	7,3	0,8	-0,55	0
P3	OD	7	5,75	0,67	0,25	11,58	4,98	6,7	5,63	5,06	6,29	0,21	-1,47	0

Fuente: Estrada, J (2018)

El análisis de las medidas de resumen de los datos de la SEK se presenta en la Tabla 10, como uno del resultado más significativo tomaremos como explicación el Punto 2. Se observa que la mediana y la media son casi parecidas por lo tanto su distribución es simétrica.

La dispersión de los datos alrededor de la media es baja ($D. E=0,25$), el error estándar ($E. E=0,09$) es muy cercano a cero. Sin embargo, el coeficiente de variación ($C.V$) es pequeño ($<20\%$), lo que no se evidencia valores atípicos (Gráfico 5). El rango del OD analizados va desde 6,76 a 7,52 mg/l (Tabla 10). El cuartil 1 representa el 25% de los datos, en este caso tiene un valor de 6,93 y el cuartil 3 es de 7,3 lo que representa el 75% de los datos. La asimetría es de 0,8 como el valor es positivo los datos son simétricos. El valor de la curtosis fue de -0,55 por lo tanto su distribución es platicúrtica (distribución normal).

Gráfico 5: Box-Plot con la normalización de datos



Fuente: Estrada, J (2018)

Una vez realizada las medidas de resumen reemplazando los outliers con la media se consiguió eliminar los valores atípicos que tuvimos en el grafico anterior (Gráfico 4) y se pudo observar que el comportamiento de los datos para la SEK no presenta gran variabilidad en comparación con los datos de la UTC.

Al analizar la base de datos tanto de la UTC como de la SEK se pudo observar el patrón de distribución del OD, el cual tienen una saturación muy variable ya que fueron tomados en distinta época entre seca y lluviosa, pero la variabilidad de este parámetro no se debe solo a la temporada en la que fueron tomados los muestreos, sino que en cada punto existe una gran cantidad de industrias grandes y pequeñas, así como también plantaciones agrícolas, floricultura, lavadoras y lubricadoras de vehículos y asentamientos humanos, los cuales vierten al río una gran cantidad de residuos químicos peligrosos, desechos sólidos y descargas de aguas servidas.

Todos estos vertimientos en el río producen un cambio drástico del OD, sus valores suben y bajan en los distintos puntos de muestreo y puede ser consecuencia de un efecto de dilución que ejerce la unión con puntos secos del río, el aumento del OD en algunos puntos puede ser producido por la dragado del río y ampliación de la ribera, lo que causa remoción de sedimentos y la disponibilidad de nutrientes en la columna de agua que favorecieron la eutroficación, otro factor es el exceso de energía solar, durante la época seca, en un ambiente rico en nutrientes propicia la producción de oxígeno por el fitoplancton (Marks, 2008).

10.2. PROSESAMIENTO CON SURFER

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

Tabla 11: Error Medio Cuadrático (EMC) de la base de datos de la UTC y de la SEK

MÉTODO	EMC - UTC	EMC - SEK
Distancia Inversa ponderada	33,17	1,43
Kriging	33,61	1,49
Mínima Curvatura	41,68	3,51E+01
Método de Shepard modificado	647,46	2E+38
Vecino Natural	9,4E+38	1,7E+38
Vecino más cercano	39,45	1,5E+00
Regresión Polinómica	26,96	3,5E+01
Función de base radial	37,33	2,1E+00
Triangulación	6,6E+38	1,7E+38
Media móvil	27,06	1,5E+00
Métrica de datos	77,10	1,1E+01
Polinomio Local	41,69	1,7E+38

Fuente: Estrada, J (2018)

Los doce métodos analizados presentan gran variabilidad en la predicción del OD. En la base de datos de la UTC, se obtuvo como resultado que los mejores métodos de menor error medio cuadrático, a pesar de que los valores son muy altos y no son aceptables, fueron: **Regresión polinómica y Distancia Inversa Ponderada**. Mientras que en la base de datos de la SEK los mejores métodos de menor error fueron: **Distancia Inversa Ponderada y Kriging**. Los demás métodos presentaron un bajo rendimiento de las mediciones utilizadas para evaluar los métodos de interpolación.

10.3. VALIDACIÓN DEL MÉTODO

En el caso de la *Distancia Inversa Ponderada* tanto para la base de datos de la UTC y para la base de datos de la SEK, presenta un mejor rendimiento en la interpolación a pesar de que los valores son muy altos y no son aceptables, este interpolador puede ser exacto o suavizado, mediante este interpolador los valores se ponderan en relación con los puntos y este considera la distancia de toma de los puntos.

Con el interpolador *Kriging* para la base de datos de la SEK, presenta un mejor rendimiento en la interpolación, lo que quiere decir que los datos muestreados del OD presenta una gran variación según la dirección que toman los datos y según el sitio en el que han sido muestreados y por ende el grado de contaminación que tenga el sitio de muestra.

En el caso de la *regresión polinómica* para la base de datos de la UTC definió tendencias y patrones a gran escala de los datos, el mismo que no es realmente un interpolador porque no intenta predecir valores desconocidos, pero se puede utilizar para definir tipos de superficies de tendencia.

10.3.1. Discusión de resultados

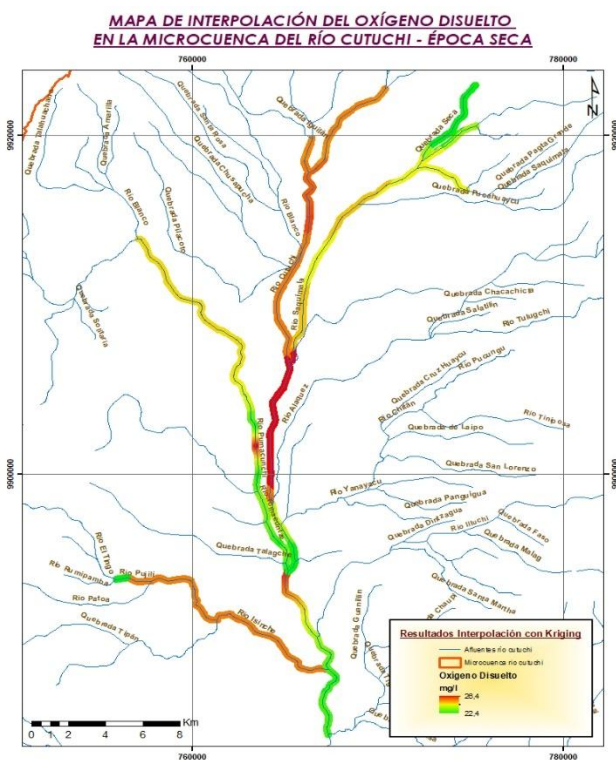
Esta investigación concuerda con el estudio realizado en el Lago de Chapala – México de la variación espacio-temporal y modelaje de la concentración de oxígeno disuelto, en el resultado de la interpolación con Kriging, la técnica de Kriging ha detectado mínimos errores en algunos estudios comparativos, por lo que se ha considerado el más adecuado (Dodd, 2015). Es importante también especificar que la autocorrelación espacial de un parámetro está definida por varios factores, como la intensidad de muestreo, la época, la distribución de los sitios de muestreo y las diferencias entre los valores vecinales (Flores, 2004). Esto implica que en un estudio de este tipo podría probarse más de una técnica de interpolación, pero para la variable OD se recomienda utilizar Kriging por su mejor rendimiento.

10.4. MAPAS DE INTERPOLACIÓN

Complementariamente al análisis efectuado con el programa Surfer, se realizó una evaluación geoestadística de los resultados para poder comparar los mismos con valores de error calculados por el componente “Geo-statistical Analyst” del sistema de información geográfica ArcGIS. Los resultados de esta evaluación permitieron elaborar dos mapas, correspondientes a las épocas seca y lluviosa, del OD de la zona de estudio. Además de los mapas se obtuvieron resúmenes estadísticos de los errores obtenidos luego del proceso de interpolación geográfica (Anexo...). A continuación, se muestran los mapas elaborados con el programa ArcGIS 10.2.

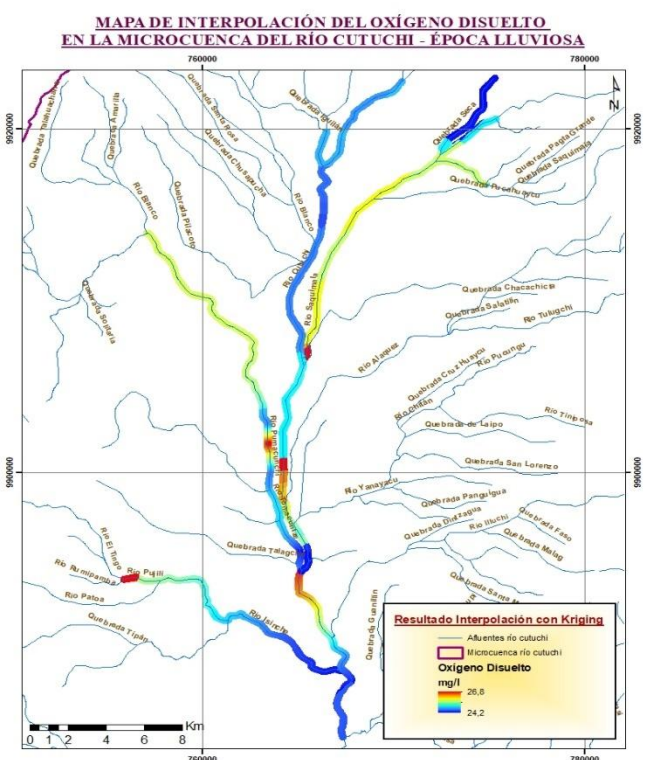
Mapa 2: Mapas de interpolación del Oxígeno

Disuelto - Época seca



Mapa 3: Mapas de interpolación del Oxígeno

Disuelto - Época lluviosa



Fuente: Estrada, J (2018)

Como lo mencionamos anteriormente separamos al río en 5 afluentes para generar un área de influencia y poder entender mejor los datos y la interpolación se genere en toda el área del río. Podemos observar en el mapa que dentro de la microcuenca en la época seca y en la época lluviosa la concentración del OD es muy variable, por el sitio en donde fueron tomados y los diferentes focos de contaminación que se encuentra en cada punto.

En el mapa de la época seca se observa que en la parte alta del río se observa una alta concentración de OD los mismo que fueron tomados en Aglomerados Cotopaxi, Fábrica de papel, Hacienda San Patricio (cultivos de coliflor, invernaderos con rosas), y en la parte media que fue tomado a la altura de Pujilí presenta descarga de aguas servidas, varias lubricadoras y existe pedazos de heces en las aguas de la ciudad. Por otro lado, en la parte baja se observa una baja concentración de OD los mismo que fueron tomados en haciendas de horticultura, floricultura, aguas servidas de Latacunga y otras ciudadelas, asentamientos, lavadoras de vehículos, a excepción del punto 5 y 6 que pertenece afluente saquimala, es agua limpia de páramo.

En el mapa de la época lluviosa se observa que en la parte alta del río se observa una baja concentración de OD los mismo que fueron tomados en lugares en donde existe gran cantidad de descargas directas al río como Aglomerados Cotopaxi, haciendas de horticultura, floricultura, aguas servidas de Latacunga y otras ciudadelas, a excepción del punto 5 y 6 que pertenece afluente saquimala, es agua limpia de páramo. Por otro lado, en la parte media del río fueron tomados en lugares donde existen floriculturas, agricultura, asentamientos, lavadoras de vehículos y en la parte baja que fue tomado a la altura de Pujilí presenta descarga de aguas servidas, varias lubricadoras y existe pedazos de heces en las aguas de la ciudad.

Al ser tomados las muestras en épocas secas hace que el nivel del río baje y su temperatura aumente, esto se ve afectado por las constantes descargas de agua dulce y aguas residuales por parte de los caños, y se le suma los vertimientos de aguas industriales. Mientas que en las épocas lluviosas la alteración de las muestras se ven afectadas por las descargas fluviales ocasionadas por altas lluvias aumentando el caudal y la temperatura del río.

11. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- ✓ El análisis exploratorio de datos permitió evaluar el comportamiento y dispersión de las concentraciones de OD para las bases de la SEK y la UTC mediante el programa InfoStat, se observó que para la base de datos de la UTC existe una variabilidad demasiado alta por la asimetría de los datos, por ello se optó por clasificar a la base de datos en época seca y época lluviosa ya que en estas épocas los datos se comportan de manera variable por diferentes factores que alteran las muestras obtenidas, logrando de esta manera que los datos presenten menos variabilidad y aporten mejor en el análisis de interpolación; el OD, al ser un indicador por excelencia de la calidad ambiental de un cuerpo hídrico, sus resultados varían demasiado al ser tomados en épocas seca y lluviosa. Esta variabilidad del OD en épocas secas puede darse por las constantes descargas de agua dulce y aguas residuales por parte de los caños, y se le suma los vertimientos de aguas industriales. Mientras que en épocas lluviosas puede ser consecuencia de las descargas fluviales ocasionadas por altas lluvias aumentando el caudal; en cuanto a la base de datos de la SEK éstos no tienen una variabilidad muy alta, su distribución y su uniformidad son adecuados para realizar la interpolación por lo que no fue necesario clasificarla por épocas.
- ✓ Tanto como para la base de datos de la UTC y la SEK, el método matemático *Distancia Inversa Ponderada* y el método geoestadístico *Kriging* son los más adecuados para la interpolación de varios puntos en la micro cuenca del Río Cutuchi, a pesar de que los valores de EMC son muy altos y no son aceptables por la variabilidad presentada en los datos, convirtiéndose en una herramienta valiosa para obtener información del OD en varios puntos de muestreo disminuyendo costos que implica el muestreo en campo.
- ✓ Con los mapas de distribución espacial del OD en la MRC pudimos observar el grado de concentración que existe en toda la MRC mediante la interpolación con Kriging ordinario. La presencia de diferentes fábricas, plantaciones agrícolas, haciendas y actividades antrópicas afectan mayoritariamente en la variación de los índices de la calidad del agua en la MRC.

- ✓ El objetivo de esta investigación fue evaluar la distribución del OD en la MRC, logrando predecir el comportamiento de los mismos y mediante el mejor interpolador y los mapas, observar su distribución espacial. de esta manera podemos ir a campo y tomar por ejemplo 4 puntos de muestreo y los demás puntos los podemos interpolar para agilizar el trabajo, reducir tiempo y los altos costos que implican los monitoreos ya sean diarios, mensuales o anuales.

RECOMENDACIONES

- ✓ Se recomienda mantener el monitoreo de la variable oxígeno disuelto con una periodicidad al menos bimestral, como indicador más relevante de la calidad del agua y tener un registro tanto para épocas secas y épocas lluviosas, por lo que se pudo evidenciar que en estas épocas existe mayor variabilidad en el parámetro.
- ✓ La interpolación con Surfer no es conveniente para el parámetro Oxígeno Disuelto ya que este tiene una alta variabilidad y no se lo puede controlar mediante programas geoestadísticos y matemáticos ya que es un parámetro de campo y su interpolación es poco confiable.
- ✓ El uso de software tanto para el análisis estadístico como para las gráficas correspondiente es una de las herramientas que ayudan y facilitan el trabajo en las investigaciones.

12. BIBLIOGRAFÍA

- A. Burrough, P. &. (1998). *Principle of Geographic Information Systems*.
- Adhikary, P. P. (2017). *Comparison of deterministic and stochastic methods to predict spatial variation of groundwater depth*. Applied Water Science.
- Admin. (2008). Problemas de contaminación en el agua.
- Chávez, L. &. (2013). *Sistema de Información para la Interpolación de Datos de Temperatura y Precipitación del Ecuador*. Revista Politécnica.
- Chen, S. C. (1991). *Orthogonal least squares learning algorithm for radial basis function networks*. IEEE Transactions on neural networks.
- Chiu, R. (. (s.f.). MÉTODO DE INTERPOLACIÓN DE KRIGING.
- Collins, F. &. (1996). *A comparison of spatial interpolation techniques in temperature estimation. Proceedings, Third International Conference/Workshop on Integrating GIS and Environmental Modeling, Santa Fe, NM*. Santa Barbara: National Center for Geographic Information and Analysis, Santa Barbara, CA.
- David, H. (Mayo de 2012). *Early sample measures of variability Statist Sci*.
- David, H. (Mayo 2012). *Early sample measure of variability Statist Zci*.
- Deus, L. A. (2016). GeoAmazonas - GIA for water Resources Management. Journal of Geographic Information System.
- Dodd, E. A. (2015). *An investigation into the impact of using various techniques to estimate arctic surface air temperature anomalies*. Obtenido de Journal of Climate, American Meteorological Society: DOI: <http://dx.doi.org/10.1175/JCLI-D-14-00250.1>.
- Fallas, J. (2007). *Modelos digitales de elevación: Teoría, métodos de interpolación y aplicaciones*. San José, Costa Rica: Mapealo. Com.
- Fermín., C. M. (2016). *Estadística Descriptiva y Probabilidad*. México.
- Flores, J. G. (2004). Variación espacial del diámetro como respuesta a diferentes intensidades de muestreo en una cuenca forestal. *Rev. Ciencia Forestal en México*, 29(96), 47-66.

- Gallardo, A. (2003). Spatial Variability of Soil Properties in a Floodplain Forest in Northwest Spain. *Ecosystems* 6, 564 – 576.
- García Barbancho, A. (1973). *Estadística elemental moderna*. Málaga: Ariel SA.
- García Pérez, A. (1992). *Estadística aplicada: Conceptos básicos*. Madrid.
- García, M. &. (2004). Aplicación de la geoestadística en las ciencias ambientales. *Revista Ecosistemas*.
- Guzmán-Colis, G. T.-L.-N.-B.-G. (2011). Evaluación Espacio-Temporal De La Calidad Del Agua Del Río San Pedro. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental.*, 89-102.
- Hengl, T. (2007). *A Practical Guide to Geostatistical Mapping of Environmental Variables*. JRC Scientific and Technical Reports. Luxembourg: Office for Official Publication of the European Communities.
- Hora, D. L. (Diciembre de 2017). Ecuador 88% de las aguas residuales llegan a los ríos. *La Hora*.
- Isaaks, E. S. (1989). *An introduction to applied geostatistics*. . New York: Oxford University Press.
- Josabeth. (2015). Análisis y Tratamiento de Aguas: Oxígeno Disuelto.
- Li, J. &. (2008). *A review of spatial interpolation methods for environmental scientists*. Geosciences Australia,.
- MAE. (2017). Plan de descontaminación del Río Cutuchi. *Ministerio del Ambiente*.
- Marks, R. (2008). Dissolved oxygen supersaturation and its impact on bubble formation in the southern Baltic Sea coastal waters. *Hydrology Research* , 39.3: 229-236.
- Melo, C. (2012). *Análisis Geoestadístico Espacio Tiempo*. Barcelona.
- Moral García, F. J. (2004). Aplicación de la geoestadística en las ciencias ambientales. *Ecosistemas*.

- Murray, S. (1997). *PROBABILIDADES Y ESTADÍSTICA*. Madrid: Mc Graw Hill.
- OMS. (2017). Monitoreo de la Calidad del agua: Guía práctica para diseñar e implementar estudios y programas de monitoreo. *Ecociencia*.
- Ramalho, R. S. (1990). Tratamiento de Aguas Residuales. *Reverte*.
- Ríos, S. (1997). *Análisis Estadístico Aplicado*. Madrid: Paraninfo.
- Robertson, G. (1987). Geostatistics in ecology: interpolating with known variance. *Ecology* 68, 744-748.
- Robertson, G. (1987). Geostatistics in ecology: interpolating with known variance. . *Ecology*, 744-748.
- RODIER, J. (1990). *Análisis de Aguas: aguas naturales, aguas residuales, agua de mar*. Barcelona: Omega.
- SAWYER, C., & McCARTY, P. (1996). *Chemistry for Environmental Engineering*. New: McGraw Hill.
- SENAGUA. (2017). Red Nacional de Monitoreo de la Calidad del Agua.
- Serrano Rodríguez, J. (s.f.). *Introducción a la Estadística*. Bogotá, Colombia: Ed universitaria de América LIDA.
- Shennan, S. (1992). *Arqueología cuantitativa*. Barcelona: Editorial Crítica.
- Steel, R.G.D, and Torrie, J. H. (1960). *Principles and Procedures of Statistics with Special Reference to the Biological Sciences*. New York: McGraw Hill.
- Tapia, V. B. (2013). *Propuesta de un Plan de Manejo de la microcuenca del Río Cutuchi*. Quito, Ecuador: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Telégrafo, E. (9 de 2015 de 2015). 40 mil m³ de aguas negras van al río Cutuchi. *El Telégrafo* .
- Theil, H. (1992). *A rank-invariant method of linear and polynomial regression analysis*. In *Henri Theil's Contributions to Economics and Econometrics*. Springer Netherlands.

- Thompson, W. &. (1952). *On the construction of tables for moving-average interpolation*.
Biometrics.
- Tveito, O. I. (2005). A GIS-based agroecological decision system based on gridded
climatology. *Meteorological Applications*.
- Wackerly, D., & Scheaffer, W. (2008). *Mathematical Statistics with Applications (7 edición)*.
USA: Belmont, CA.
- Weber, W. J. (2003). Control de la Calidad del agua: procesos físicoquímicos. *Reverte*.
- Yang, C. K. (2004). Twelve different interpolation methods: A case study of Surfer 8.0. In
Proceedings of the XXth ISPRS Congress,.
- Yilmaz, H. (2007). *The effect of interpolation methods in surface definition: an experimental
study*. *Earth Surface Processes and Landforms*.

13. ANEXOS

13.1. Anexo 1: Aval de traducción



CENTRO DE IDIOMAS

AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi, en forma legal **CERTIFICO** que: La traducción del resumen de tesis al Idioma Inglés presentado por el señor Egresado de la Carrera de **INGENIERÍA DE MEDIO AMBIENTE** de la Facultad de **CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES**, Johanna Paola Estrada Sanabria cuyo título versa **"VARIACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DEL OXÍGENO DISUELTO EN LA MICROCUENCA DEL RÍO CUTUCHI UTILIZANDO TÉCNICAS DE ESTIMACIÓN GEOESTADÍSTICA"**, lo realizó bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del idioma.

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

Latacunga, agosto del 2018

Atentamente,

EDISON MÁRCELO PACHECO PRUNA
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS
C.I. 050261735-0



13.2. Anexo 2: Curriculum Vitae de la estudiante.

Johanna Paola Estrada Sanabria

Edad: 25 años

Estado civil: Soltera

Cédula de Identidad: 171427178-8

Dirección: Quito, Solanda sector 2 calle Salvador Bravo oe4-176 y

José María Alemán

Telf.: 2731-053/0984957262

Email: paos_joss@hotmail.com



ESTUDIOS

Año 2011 **Título:** Bachiller Contable en Ciencias de Comercio y Administración
Quito - Ecuador Instituto Técnico Superior Experimental ‘Luis Napoleón Dillon’

Año 2017 Estudios universitarios en la carrera de Ingeniería en Medio Ambiente
Latacunga - Ecuador *Cursando el décimo semestre - Universidad Técnica de Cotopaxi*

Idiomas: **Español:** Natal

Inglés: Básico

Programas *Ofimática - Todos los paquetes de Office a nivel básico*
manejados:

EXPERIENCIA LABORAL

Nov. – Ene. 2012 **NOMBRE DE LA EMPRESA:** Almacenes Deprati, Quicentro Sur
Quito - Ecuador **Cargo ocupado:** Vendedora (por temporada)

Tarés realizadas: Venta de ropa en la sección de damas clásicas

Marzo. 2017 **NOMBRE DE LA EMPRESA:** GAD Rumiñahui - Sangolqui

Sangolquí- Ecuador **Cargo ocupado:** Pasante

Tarés realizadas: Identificación de macroinvertebrados y monitoreos de campo.

REFERENCIAS LABORALES**Almacenes Deprati**

Tienda Quicentro Sur - Av. Morán Valverde y Av. Quitumbe Ñan, planta baja local 19

Teléfono: 3825-790/3825-701

GAD Rumiñahui

Montúfar 251 y Espejo. Sangolquí, Ecuador.

Teléfono: (02) 2998 300, ext. 2037

REFERENCIAS PERSONALES**Ing. Orlando Medrano**

Ludoteca Padre Victor Grados 2688-142/2689-353

Ing. Laura Miño

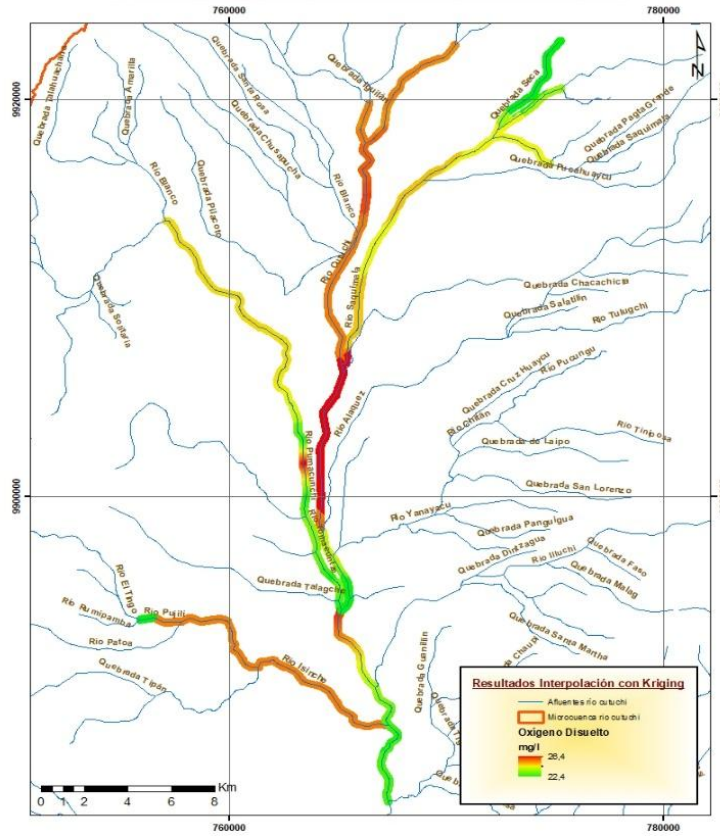
Hospital Vozandez Quito 226-2142

Blgo. Cristian Aguilar

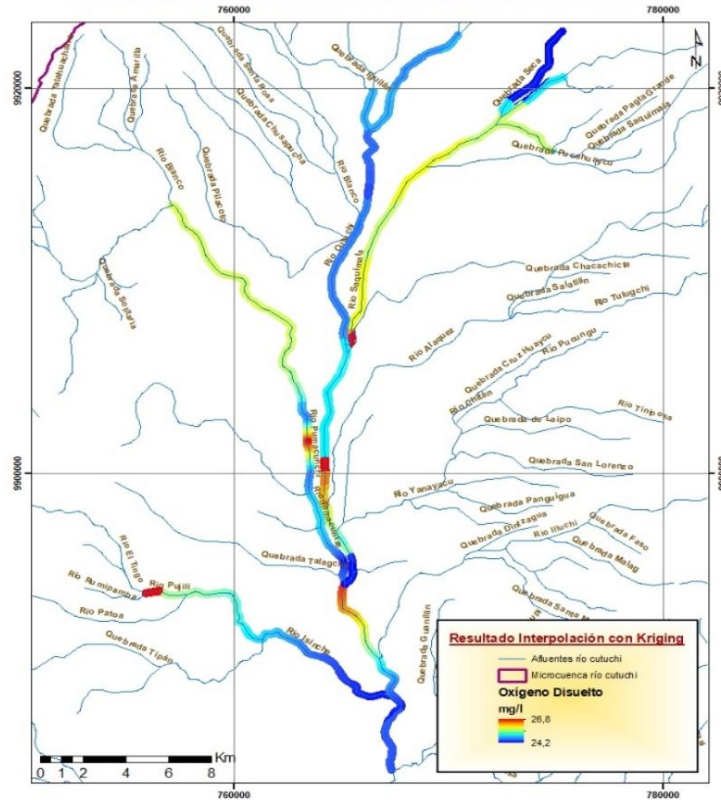
GAD Municipal de Rumiñahui 0992667792

13.3. Anexo 3: Mapas de interpolación

MAPA DE INTERPOLACIÓN DEL OXÍGENO DISUELTO EN LA MICROCUENCA DEL RÍO CUTUCHI - ÉPOCA SECA



MAPA DE INTERPOLACIÓN DEL OXÍGENO DISUELTO EN LA MICROCUENCA DEL RÍO CUTUCHI - ÉPOCA LLUVIOSA



13.4. Anexo 5: Procedimiento estadístico en el software ArcGIS 10.2

Histograma

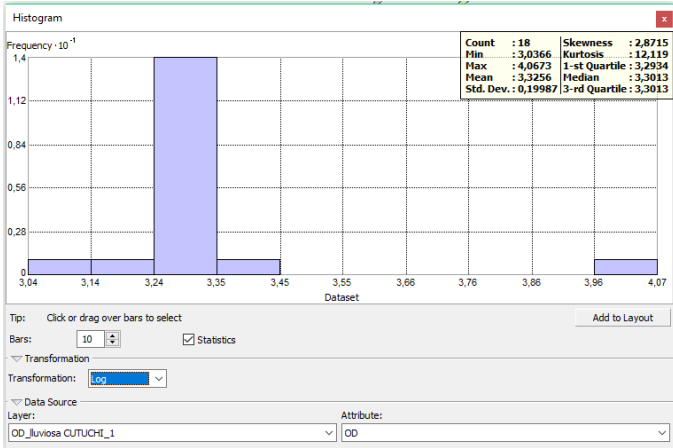
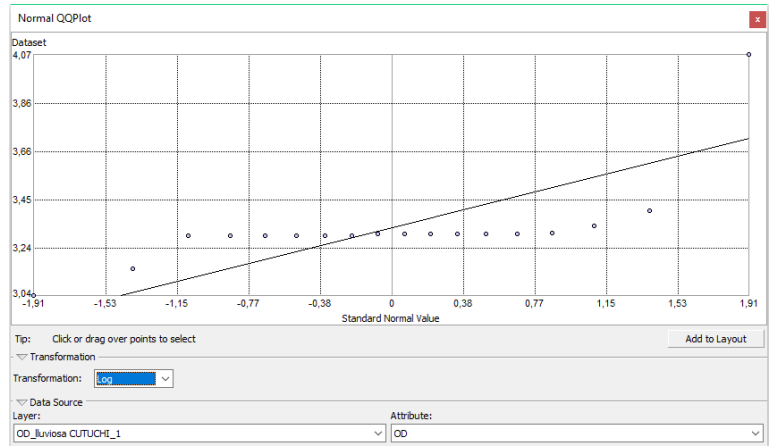
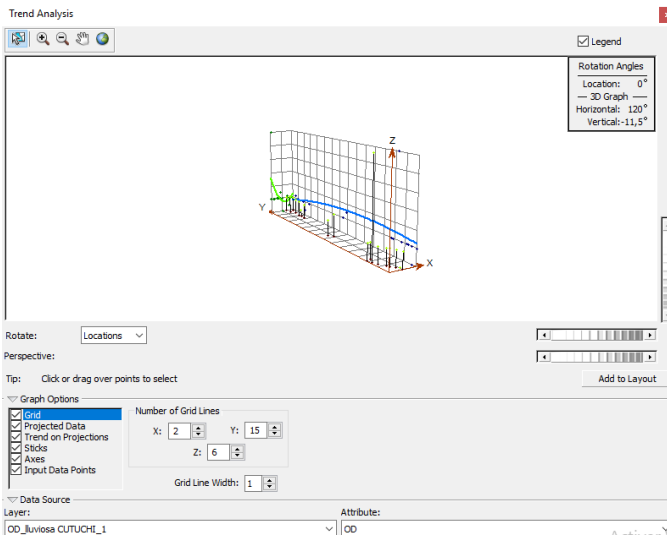


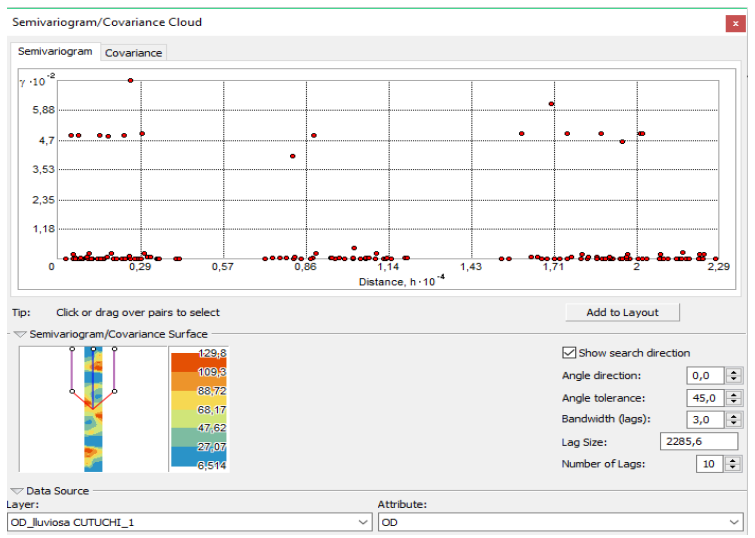
Gráfico QQ Normal



Análisis de tendencia



Nube del Semivariograma o covarianza



Resumen estadístico validación del método - Error Medio cuadrático

