

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**ESCUELA DE POSTGRADO EN INGENIERÍA Y CIENCIA**

**EUTROFIZACIÓN, METAMORFOSIS , CONTENIDO DE BORO Y  
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO EN LAS AGUAS DEL SISTEMA  
HIDROGRÁFICO DE RÍO GRANDE EN DONDE SE CONSTRUYE  
LA PRESA PROPÓSITO MÚLTIPLE CHONE (PPMCH)**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE MASTER EN  
INGENIERÍA AMBIENTAL**

**ING. ANDREA NATALIA DELGADO MONTUFAR**

nataliadelgado383@hotmail.com

**DIRECTOR: ING DAVID CARRERA VILLACRÉS PH. D.**

**CODIRECTOR: ING ANA BALAREZO, PH. D.**

**Quito, Diciembre de 2018**

## DECLARACIÓN

Yo, Andrea Natalia Delgado Montufar, declaro que el trabajo aquí escrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

---

ANDREA NATALIA DELGADO MONTÚFAR

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue realizado por Andrea Natalia Delgado Montufar, bajo mi supervisión.

---

**ING DAVID CARRERA VILLACRÉS PH.D**  
**DIRECTOR DEL PROYECTO**

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis padres Gina y Gento que me han apoyado incondicionalmente durante el curso de mi maestría, de toda mi vida profesional y de esta investigación por su ejemplo y sus palabras que fueron el ingrediente de motivación con el cual siempre tuve la fortuna de tener.

Al Ing. David Carrera por permitirnos ejecutar este proyecto y guiarlo durante toda su realización, por compartir su conocimiento, apoyo y amistad.

Al Ing. Narvaez por su siempre amable disposición a ayudar, enseñar y guiar.

A la Dra. Ana Balarezo por su importante colaboración en la codirección de esta investigación, por su paciencia, ayuda y apertura para enseñar.

A la Ing. Paulina Guevara por su guía en la realización de los análisis en los laboratorios de ambiental de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

A la Universidad de las Fuerzas Armadas por permitir el uso de los laboratorios, materiales y reactivos requeridos para la realización de esta investigación

## **DEDICATORIA**

Este trabajo está dedicado a mis padres Gina y Gento, mi hija Valeskita y mi esposo Fernando.

A mi Madre Gina que con sus palabras de aliento me ha impulsado en cada paso de mi vida con su amor, sabiduría y ejemplo para lograr las metas que me he propuesto, por ser mi mejor amiga y mi consejera.

A mi Padre Gento que con sutileza y cariño me ha enseñado lo que debo exigir de la vida y de mí misma, por sus espontáneos abrazos y consejos que han llenado mi alma.

A mi esposo Fernando y mi hija Valeska por su amor infinito, por su apoyo incondicional, por su gran ternura, por ser mi inspiración, mi aliento y una razón más para cumplir mis sueños. Por cada día a su lado.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

DECLARACIÓN .....	i
CERTIFICACIÓN .....	ii
AGRADECIMIENTOS .....	iii
DEDICATORIA.....	iv
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	v
PRESENTACIÓN .....	xii
RESUMEN .....	xiii
ABSTRACT .....	xiv
1. CAPÍTULO UNO: INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. JUSTIFICACIÓN .....	1
1.2. HIPÓTESIS.....	3
1.3. OBJETIVOS.....	3
1.3.1. OBJETIVO GENERAL .....	3
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
2. CAPÍTULO DOS: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	6
2.1. EL AGUA EN LAS REPRESAS .....	6
2.1.1. LA REPRESA EN EL RÍO GRANDE Y EMBALSE .....	9
2.2. EUTROFIZACIÓN DE LAS AGUAS.....	12
2.2.1. INTRODUCCIÓN .....	12
2.2.2. PRODUCTIVIDAD DEL AGUA .....	12
2.2.3. EUTROFIZACIÓN EN LOS EMBALSES .....	15
2.2.4. CAUSAS DE LA EUTROFIZACIÓN.....	16
2.2.5. PROCESO DE EUTROFIZACIÓN.....	18
2.2.6. EFECTOS DEL PROCESO DE EUTROFIZACIÓN .....	19
2.3. COMPOSICIÓN FÍSICO QUÍMICA DE LAS AGUAS SUPERFICIALES.....	20
2.3.1. INFLUENCIA DEL MATERIAL GEOLÓGICO .....	22
2.3.2. INFLUENCIA DE OTROS FACTORES .....	23

2.4.	ANIONES.....	23
2.4.1.	CLORUROS.....	23
2.4.2.	FOSFATOS.....	25
2.4.3.	NITRITOS.....	26
2.4.4.	NITRATOS.....	26
2.4.5.	SULFATOS.....	27
2.5.	CATIONES.....	28
2.5.1.	SODIO.....	28
2.5.2.	POTASIO.....	28
2.5.3.	HIERRO Y MANGANESO.....	29
2.6.	METALES.....	29
3.	CAPÍTULO TRES: MATERIALES Y MÉTODOS.....	30
3.1.	UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL PROYECTO.....	30
3.2.	METODOLOGÍA DE MUESTREO Y ANÁLISIS DEL MUESTREO DE AGUAS.....	38
3.2.1.	MUESTREO DE AGUAS.....	38
3.2.2.	ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS.....	42
3.3.	FASE DE MUESTREO DE AGUAS.....	44
3.4.	CONSERVACIÓN Y MANEJO DE LAS MUESTRAS DE AGUAS.....	44
3.5.	ANÁLISIS EN LABORATORIO.....	47
3.6.	EXPERIMENTO DE METAMORFOSIS DE LAS AGUAS.....	48
3.7.	TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE DATOS.....	49
3.7.1.	ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES.....	49
3.7.2.	ANÁLISIS GEOESTADÍSTICO.....	50
3.7.3.	METODOLOGÍA DE ELABORACIÓN DE MAPAS DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL.....	51
3.7.4.	METODOLOGÍA DE LA PROPUESTA DEL PLAN DE MANEJO DE LA EUTROFIZACIÓN EN EL RÍO GRANDE.....	52
4.	CAPÍTULO CUATRO: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	54
4.1.	COMPOSICIÓN IÓNICA DE LAS AGUAS.....	54

4.2.	VERIFICACIÓN DE LOS DATOS .....	68
4.3.	PARÁMETROS FÍSICO QUÍMICOS DE LAS AGUAS.....	75
4.3.1.	TEMPERATURA.....	75
4.3.2.	POTENCIAL DE HIDROGENO Ph .....	76
4.3.3.	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (CE).....	77
4.3.4.	SODIO (Na) .....	78
4.3.5.	POTASIO (K) .....	80
4.3.6.	CALCIO (Ca).....	81
4.3.7.	MAGNESIO (Mg) .....	82
4.3.8.	CLORUROS.....	83
4.3.9.	SULFATOS.....	84
4.3.10.	OXÍGENO DISUELTO.....	86
4.3.11.	FOSFATOS.....	86
4.4.	ANÁLISIS MULTIVARIANTE DE COMPONENTES PRINCIPALES .....	92
4.4.1.	VARIABLES DE ESTUDIO .....	92
4.4.2.	ANÁLISIS GEOESTADÍSTICO.....	95
4.4.3.	ANÁLISIS EXPLORATORIO DE DATOS (AED).....	95
4.4.4.	MÉTODO GRÁFICO.....	96
4.4.5.	GRÁFICO Q_Qplot.....	97
4.4.6.	GRÁFICO DE CAJA Y BIGOTE.....	98
4.4.7.	ANÁLISIS DE TENDENCIA .....	100
4.4.8.	ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LA GEOESTADÍSTICA.....	102
4.4.9.	SEMIVARIOGRAMA TEÓRICO.....	103
4.5.	VALIDACIÓN CRUZADA .....	104
4.6.	MÉTODO KRIGING .....	106
4.6.1.	PREDICCIÓN DEL MÉTODO KRIGING.....	106
4.6.2.	ERRORES DE PREDICCIÓN.....	107
4.6.3.	MAPA DE PREDICCIÓN .....	108
4.7.	ANÁLISIS DETERMINÍSTICO .....	110



4.8. METAMORFOSIS DE LAS AGUAS.....	115
4.9. PROPUESTA DE UN PLAN DE MANEJO DE LA EUTROFIZACIÓN.....	117
CAPÍTULO 5 .....	120
CONCLUSIONES.....	120
CAPITULO 6 .....	122
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	122
ANEXOS .....	138

## ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO 2.1 VALORES DE FÓSFORO PARA CADA ESTADO TRÓFICO .....	13
CUADRO 2.2 CARACTERÍSTICAS DE UN CUERPO DE AGUA DE ACUERDO A SU ESTADO TRÓFICO.....	15
CUADRO 3.1 INFORMACIÓN ACERCA DE LOS PUNTOS DE MUESTREO EN LA ÉPOCA DE LLUVIAS .....	31
CUADRO 3.2 INFORMACIÓN ACERCA DE LOS PUNTOS DE MUESTREO EN LA ÉPOCA DE ESTIAJE .....	33
CUADRO 3.3 DESCRIPCIÓN DE LOS PUNTOS CRÍTICOS PARA EL MUESTREO .....	38
CUADRO 3.4 RESUMEN DE LAS TÉCNICAS DE ANÁLISIS POR PARÁMETRO MEDIDO.....	43
CUADRO 3.5 RESUMEN DE RECOMENDACIONES PARA TOMAR EN CUENTA EN EL MUESTREO Y PRESERVACIÓN DE LAS MUESTRAS DE AGUA DE ACUERDA A LAS MEDICIONES .....	46
CUADRO 3.6 RESUMEN DE MÉTODOS PARA ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS DE AGUA.....	47

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1 FOTOGRAFÍA DE JACINTOS A LO LARGO DE LA CUENCA DEL RÍO GRANDE .....	2
FIGURA 2.1 CARACOL GIGANTE OBSERVADO EN LA CUENCA DEL RÍO GRANDE EN LA ÉPOCA DE LLUVIAS.....	7
FIGURA 2.2 FOTOGRAFÍA DEL RÍO GRANDE INUNDADO DURANTE LA ÉPOCA DE LLUVIAS EN 2016 .....	8
FIGURA 2.3 REPRESA DEL RÍO GRANDE DESPUÉS DE LA LIMPIEZA DE JACINTOS DEL AGUA.....	10
FIGURA 2.4 CLASIFICACIÓN DEL ESTADO TRÓFICO DE LAS AGUAS .	14
FIGURA 2.5 ESQUEMA GRÁFICO DE LAS CAUSAS DE LA EUTROFIZACIÓN .....	17
FIGURA 3.1 MAPA DE LOCALIZACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO DE AGUA EN CHONE.....	37
FIGURA 4.1 RELACIÓN ENTRE LA SUMATORIA DE CATIONES Y LA CONDUCTIVIDAD.....	70
FIGURA 4.2 RELACIÓN ENTRE LOS SÓLIDOS DISUELTOS CALCULADOS Y LA CONDUCTIVIDAD .....	72
FIGURA 4.3 RELACIÓN ENTRE LOS SÓLIDOS DISUELTOS Y LA CONDUCTIVIDAD.....	73
FIGURA 4.4 DIAGRAMA DE PIPER PARA LA ÉPOCA LLUVIOSA DEL AÑO 2016.....	74
FIGURA 4.5 DIAGRAMA DE PIPER PARA LA ÉPOCA DE ESTIAJE PARA LA ÉPOCA DE ESTIAJE DEL AÑO 2016.....	75
FIGURA 4.6 RELACIÓN ENTRE LOS FOSFATOS DE LOS AÑOS 2014, 2015 Y 2016 EN LA ÉPOCA DE LLUVIAS.....	89
FIGURA 4.7 RELACIÓN ENTRE LA CONCENTRACIÓN DE FOSFATOS DE LOS AÑOS 2014, 2015 Y 2016 EN LA ÉPOCA DE ESTIAJE .....	89

FIGURA 4.8 MAPA DE DISTRIBUCIÓN DE LOS FOSFATOS EN EL SISTEMA HIDROGRÁFICO DEL RÍO GRANDE .....	91
FIGURA 4.9 COMPONENTES PRINCIPALES EN LA ÉPOCA DE LLUVIAS 2016.....	93
FIGURA 4.10 GRÁFICA DE COMPONENTES PRINCIPALES PARA AGOSTO DE 2016 .....	94
FIGURA 4.11 HISTOGRAMA DE FOSFATOS PARA EL PERIODO DE LLUVIAS 2016.....	96
FIGURA 4.12 GRÁFICA Q-Qplot PARA LA VARIABLE FOSFATOS EN EL PERIODO ENERO 2016 .....	98
FIGURA 4.13 GRÁFICA DE CAJA Y BIGOTE PARA LOS FOSFATOS EN EL PERIODO ENERO 2016 .....	99
FIGURA 4.14 REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL ANÁLISIS DE TENDENCIA PARA LOS FOSFATOS EN LA ÉPOCA DE LLUVIAS 2016.....	100
FIGURA 4.15 REPRESENTACIÓN GRÁFICA SEMIVARIOGRAMA.....	104
FIGURA 4.16 VALIDACIÓN CRUZADA MÉTODO KRIGING PARA FOSFATOS EN LA ÉPOCA DE LLUVIAS 2016.....	105
FIGURA 4.17 MAPA DE PREDICCIÓN EMPLEANDO KRIGING PARA FOSFATOS EN LA ÉPOCA DE LLUVIAS INTENSAS 2016.....	109
FIGURA 4.18 MAPA DE ERRORES DE PREDICCIÓN MÉTODO KRIGING ORDINARIO PARA FOSFATOS EN ÉPOCA DE LLUVIAS INTENSAS .....	109
FIGURA 4.19 VALIDACIÓN CRUZADA DEL MÉTODO IDW PARA FOSFATOS EN LA ÉPOCA DE LLUVIAS.....	112
FIGURA 4.20 MAPA DE PREDICCIÓN DE IDW PARA FOSFATOS EN LA ÉPOCA DE LLUVIAS .....	114

## PRESENTACIÓN

En el Ecuador existe una gran cantidad de cuencas hidrográficas que varían en gran medida de acuerdo a las condiciones climáticas y antropológicas que se encuentran en las diferentes zonas, en Chone existe una extensión hidrográfica de 2.697 km<sup>2</sup> en un rango de altitud de 500 msnm y desembocan a nivel del mar, representa una de las zonas más productivas del país en cuanto a la agricultura (Franzpc, 2011). Actualmente se reconoce que los sistemas acuáticos realizan una serie de funciones ambientales sumamente valiosas como reciclaje de nutrientes, purificación de las aguas, mantenimiento del régimen de descarga de ríos y arroyos, provisión de hábitat para una gran cantidad de especies animales y vegetales y aporte de recreación para los seres humanos. También es reconocido que la eutrofización de las aguas superficiales producida por una carga excesiva de Fósforo (P) y Nitrógeno (N), desorganiza el normal funcionamiento de los sistemas acuáticos impidiendo que brinden los beneficios que un agua natural brinda. En los países desarrollados las fuentes puntuales han sido controladas debido que se dispone del conocimiento y las inversiones necesarias, a nivel de la ciencia y tecnología también se dispone de una buena comprensión de las causas que provocan la eutrofización a partir de fuentes no puntuales (Quiros, 2000).

El presente trabajo de investigación permitió realizar un estudio físico y químico completo de las aguas en el sistema hidrográfico del río Grande tanto en la época de lluvias intensas como en la época de sequía en los años 2014, 2015 y 2016, se midió los componentes en el laboratorio empleando equipos validados y metodología de acuerdo al manual de métodos de la EPA.

La utilidad del estudio fue identificar la eutrofización y realizar monitoreo de la calidad del agua en la concentración orgánica e inorgánica del sistema hidrográfico de río Grande a través de ensayos específicos para determinar la cantidad de fósforo existente en las muestras obtenidas de agua en laboratorio y con los resultados tener un punto de partida para proveer una alternativa para tratar las aguas eutrofizadas del sistema. Además en el presente estudio de las aguas se ha determinado el comportamiento bajo condiciones de evaporación simulando lo que ocurre en la represa día a día.

## RESUMEN

Este trabajo de investigación es sobre las aguas del sistema hidrográfico de río Grande que serán empleadas para riego en la segunda fase de la Presa Propósito Múltiple Chone ( PPMCH) con una inversión del estado Ecuatoriano de más de 250 millones de dólares. Se realizó el estudio durante el año 2016 y 2017 y tuvo como objetivo el análisis de la composición física y química de las aguas que se consideraron críticas en cuanto a la eutrofización en el sistema hidrográfico del río Grande debido a su alta concentración de fosfatos identificados en trabajos anteriores de los años 2014 y 2015 tanto en la época de lluvias intensas como en la época de estiaje. Además, se monitorearon las concentraciones de Boro y Demanda Química de Oxígeno de dichas aguas, Finalmente, se realizó el ensayo de metamorfosis de las aguas para comprobar el cambio en la tipología de las mismas después de la evaporación natural que ocurre en una represa de agua Los resultados indicaron que el contenido de Fósforo en la época de lluvias intensas así como en la época de estiaje tienen valores por encima de 0,1 mg/L lo cual es un indicador de que las aguas están eutrofizadas se obtuvo como valor máximo de 1,57 mg/L para la época de estiaje y de 1,02 mg/L en la época de lluvias intensas, en cuanto a los componentes Boro y DQO se obtuvieron valores bajos que no fueron de significancia, sin embargo, en el caso del Boro es preocupante porque en los cultivos que se implementarán en la fase 2 existirá una deficiencia de este elemento, es decir, la carencia de Boro indica una mala calidad del agua para ser empleada como fuente de riego para los cultivos, ya que las plantas requieren una cantidad de Boro esencial para poder desarrollarse. En el ensayo de metamorfosis se obtuvo un cambio importante en la tipología de las aguas de modo que se registró un aumento grande en la alcalinidad de las aguas del sistema hidrográfico del río Grande, inicialmente fueron aguas bicarbonatadas cálcicas y después de los procesos de evaporación cambiaron a carbonatadas sódicas con alta probabilidad de generar aguas y suelos de riego salino sódicos. En lo que respecta a la eutrofización se encuentran en un proceso muy acelerado.

## ABSTRACT

The present study carried out the study during the year 2016 and has as objective the analysis of the physical and chemical composition of waters that were considered critical regarding eutrophication in the hydrographic system of the Rio Grande due to its high concentration of phosphates Identified in previous theses of the years 2014 and 2015 both in the periods of intense rains and in the seasons of drought in addition were monitored the concentrations of Boron and Chemical Oxygen demand of said waters in addition the test of metamorphosis of the waters for Check the change in their typology after evaporation. It is of great importance the present study because the waters of the system will be used for irrigation in the second phase of the PPMCH and in case of having a poor quality would cause more problems than benefits to the crops. In the laboratory using the methodology that the Standard Methods indicates to quantify each component and it was found that the contents of phosphorus in the periods of intense rains as well as in the dry season have values above 0.1 mg / L which is An indicator that the waters are eutrophic was obtained as a maximum value of 1.57 mg / L for the dry season and 1.02 mg / L in the period of intense rains, as for the Boron and COD components were obtained Low values that were not of significance however in the metamorphosis test a significant change in the typology of the waters was obtained so that a great increase in the alkalinity of the waters was registered. In conclusion, the waters of the hydrographic system of the Rio Grande are in a very fast eutrophic process, the lack of Boro indicates a poor water quality to be used as a source of irrigation for the crops, since the plants require a quantity of essential Boron To be able to develop and finally the effect of the evaporation of the water in the dam due to the climatic factors indicates a potential alkalization of the waters.

# 1. CAPÍTULO UNO: INTRODUCCIÓN

## 1.1. JUSTIFICACIÓN

La provincia de Manabí, en la zona costera del Ecuador, cada año tenía problemas de falta de agua para aprovisionarla demanda de los habitantes y de las zonas de productivas durante el periodo de estiaje; sin embargo en la época de lluvias el exceso de las mismas producía grandes pérdidas en los cultivos. Debido a este fenómeno, el Estado ecuatoriano, realizó una inversión millonaria, para evitar la inundación en la ciudad de Chone y para proveer el agua necesaria se ejecutó el Proyecto Propósito Múltiple Chone (PPMCH) que tuvo como finalidad la construcción de la presa del río Grande y la construcción de un sistema de riego para abastecer una demanda de aproximadamente 7.000 ha. Es una zona con particularidades extremas, producto de las condiciones climáticas de la región, con precipitaciones anuales mayores a 3.500 mm (fenómeno del Niño del año 1998); e inferiores a 500 mm. La temperatura media es de 25° C aproximadamente y la humedad relativa está en el orden del 85%. A propósito de la variación en las precipitaciones es importante saber y entender los procesos químicos que ocurren en el agua, y también el fenómeno de eutrofización inherente a éste tipo de presas (Carrera Villacrés, 2015).

Es así que en el presente trabajo se investigó la eutrofización de las aguas en el sector donde se construyó la presa PPMCH, la eutrofización se refiere a un incremento exponencial de la concentración de iones fosfato en el agua, disminución del oxígeno disuelto, y aumento del DQO que provoca la proliferación de una gran cantidad de plantas acuáticas, algas y cianobacterias, éstas producen toxinas y emiten gases de efecto invernadero que finalmente terminan siendo la causa de un daño permanente en los cuerpos de agua. Se puede observar en la Figura 1 el basto crecimiento de lirios de agua.



## FIGURA 1. 1 FOTOGRAFÍA DE JACINTOS A LO LARGO DE LA CUENCA DEL RÍO GRANDE



FUENTE: FOTOGRAFÍAS DEL MUESTREO DE ENERO DE 2016

Desde hace algunos años se ha generado un gran interés científico por el estudio de un sin número aspectos relacionados con la gestión de los embalses dentro de lo cual se ha incluido la cuantificación de los cambios en las aguas debido a pérdidas por procesos de evaporación de la lámina de agua embalsada (Moreno J. L., 2008).

En el presente trabajo se realizó el ensayo de la metamorfosis de las aguas que como se menciona anteriormente se refiere a la transformación físico y química de las mismas a medida que se pierde volumen por evaporación debido a los diferentes factores climáticos, las aguas de riego deberían tener una tipología que ayude a los cultivos a desarrollarse, los cambios en los elementos físicos y químicos por la evaporación podrían ocasionar efectos negativos sobre los cultivos (Olmos, 2000).

Se realizó también el monitoreo del contenido de Boro en las aguas ya que de forma natural, el Boro esta normalmente presente en una concentración promedio de 10 ppm y si existe una carencia o un exceso en las aguas esto afectaría directamente a los cultivos que sean regados con esta agua las plantas sufren efectos tóxicos o deficiencias en un rango de (0.3-1 ppm). El Boro es un elemento vital para el crecimiento normal de las plantas, ya que fomenta la división adecuada de las células, la elongación de células, la robustez de la pared celular, la polinización, floración, reproducción de las semillas y la traslación de azúcar. El Boro es

igualmente primordial para el sistema hormonal de las plantas (Laboski, 2008). El presente estudio por lo tanto determinará que parámetros físico-químicos del agua de la presa tienen concentraciones más elevadas de lo que se espera normalmente en este tipo de construcciones, los resultados serán decisivos para concluir el estado de eutrofización y metamorfosis de dichas aguas. Todo esto en beneficio de las poblaciones que emplearán esta agua para los fines que se mencionó.

## **1.2. HIPÓTESIS**

Existe un proceso eutrófico en las aguas de la presa (PPMCH) debido a elevadas concentraciones de Fósforo superior a 0.1 mg/L, ínfimas concentraciones de Boro menores a 1 mg/L, altas concentraciones de DQO mayores a 100 mg/L y un cambio significativo en la tipología de las aguas debido a la evaporación.

## **1.3. OBJETIVOS**

### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

Determinar la eutrofización, la metamorfosis, concentración de Boro y demanda química de oxígeno en las aguas del sistema hidrográfico del río Grande en donde se construyó la Presa Propósito Múltiple Chone (PPMCH) en época de sequía y de lluvias intensas durante el año 2016, en base a los estudios previos de los años 2014 y 2015.

### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Realizar un plan de muestreo empleando mapas de distribución de los puntos más representativos en cuanto a la concentración de fosfatos sacados de los trabajos previos en el río Grande en donde se construyó la PPMCH y empleando

datos hidro-meteorológicos de 47 años para determinar los meses más representativos

- Realizar dos muestreos en el sistema hidrográfico en la época de estiaje y en la época de lluvias intensas, en el año 2016, de acuerdo a un periodo de estudios pluviométricos de 47 años.
- Determinar los parámetros físicos y químicos: Temperatura, potencial hidrógeno (pH), temperatura (T), conductividad eléctrica (CE), Sodio ( $\text{Na}^+$ ), Potasio ( $\text{K}^+$ ), Calcio ( $\text{Ca}^+$ ), Magnesio ( $\text{Mg}^+$ ), dureza, cloruros ( $\text{Cl}^-$ ), Sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), Boro ( $\text{B}^-$ ), Fosfatos ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), Oxígeno Disuelto (OD) y Demanda Química de Oxígeno (DQO), potencial redox en las aguas de la cuenca del río Grande en donde se construye la Presa del PPMCH y realizar el ensayo de metamorfosis.
- Realizar el análisis estadístico multivariado de componentes principales con la información de la concentración de aguas para determinar las variables significativas
- Elaborar las curvas de comportamiento de los elementos que resultaron del análisis de componentes principales y verificar la precisión de los resultados obtenidos en laboratorio.
- Elaborar mapas de distribución espacial de concentraciones para los fosfatos, y para los elementos resultantes del análisis de componentes principales en el sistema hidrográfico del río Grande.
- Proponer las posibles medidas teóricas de mitigación que permitan minimizar la eutrofización

- Realizar un experimento de metamorfosis de las aguas para evaluar los efectos de la evaporación sobre una muestra del río Grande en las épocas de lluvias y de estiaje.

## **2. CAPÍTULO DOS: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. EL AGUA EN LAS REPRESAS**

Los embalses representan una herramienta muy buena para administrar correctamente los recursos de agua, su importancia es aún mayor en ambientes en los que existe una relativa escasez de agua y la ocurrencia periódica de sequías y una gran variabilidad en los años hace vital la regularización los ríos (Moreno J. L., 2008).

“Una presa es una muralla elaborada de rocas, hormigón o materiales como arenas, que se cimienta regularmente en una depresión sobre un río. Su intención de almacenar el agua en el cuenca fluvial para incrementar su nivel con la finalidad de distribuirla, usando canales de riego, para su uso en aprovisionamiento y además evitar desbordamientos aguas abajo de la presa también para la generación de energía de tipo mecánica al transmutar la energía potencial del acopio en energía cinética y está se transforma de nuevo en energía mecánica y de esta manera hacer que se accione un mecanismo que se movera por la acción del agua” (Amendaris, 2013).

Toda estructura tiene algún impacto sobre el medioambiente es decir la formación de embalses tienen desventajas. Las aguas a cielo abierto están sujetas a evaporación con índices que varían según el clima. En algunas regiones, como en España se ha encontrado que el 20 por ciento de la esorrentía total anual se pierde en la atmósfera de acuerdo a los factores climáticos (Amendaris, 2013).

Los embalses pueden causar impactos ambientales entre los cuales esta impedir el movimiento del sedimento y por esa razón provocar una erosión corriente abajo, interrumpir el ciclo de vida de especies de peces que deben viajar corriente arriba para desovar, aportan residuos a las aguas por actividades antropogénicas, puede ocurrir una descomposición de los elementos orgánicos de las aguas del embalse, la eutrofización y deficiencia en la cantidad de oxígeno disuelto y finalmente la evaporación del embalse y cambios en la temperatura de las aguas (Amendaris, 2013).

Se conoce por estudios que si se excede el tiempo de residencia de las aguas en un embalse estas aguas estancadas provocan enfermedades como la esquistosomiasis que se transmite mediante los caracoles que se observaron abundantemente en el río Grande, estos animales proliferan sin medida en las aguas empantanadas o de movimiento lánguido, este fenómeno se ha observado en presas como las de Kariba, Aswan y Akosombo. Otras enfermedades que son inherentes con la edificación de las represas son: disentería, diarreas, desnutrición, proliferación anormal de mosquitos, viruela, erupciones en la piel, infecciones vaginales, cáncer, tuberculosis, sífilis, fiebre amarilla, dengue y leishmaniosis de acuerdo a la zona, en la Figura 2.1 se observa una fotografía del caracol que se observa en la cuenca del río Grande, de acuerdo a sus características fenotípicas se puede concluir que se trata de un caracol gigante africano considerado como plaga y portador de enfermedades (Soto, 2010).

**FIGURA 2. 1 CARACOL GIGANTE OBSERVADO EN LA CUENCA DEL RÍO GRANDE EN LA ÉPOCA DE LLUVIAS**



FUENTE: FOTOGRAFÍA REALIZADA EN EL MUESTREO DE ENERO DE 2016  
ELABORADO POR: ANDREA NATALIA DELGADO MONTUFAR

“Al contener un río y construir un estanque, se modifica intensamente la hidrología y limnología del régimen fluvial. Se ocasionan transformaciones dramáticas en el flujo, las características: cantidad y utilización del agua, los factores bióticos y la sedimentación de la cuenca del río. Los abonos empleados aguas arriba se adicionan a los nutrientes que se almacenan en la presa. Estos nutrientes resisten no solo la actividad pesquera, sino también la proliferación de las hierbas acuáticas, como nenúfares y jacintos de agua (lechuguines). Las alfombras de hierbas y algas

pueden instaurar importunos onerosos. Si atrancan las salidas de la represa y los canales de riego, acaban con la pesca, incrementan los costos manejo del agua, frenan la navegación e incrementan de manera importante las pérdidas de agua a causa de la transpiración” (Corrales, 2011).

Si el terreno anegado tiene mucha materia vegetal o estructuras y no se realiza una limpieza a conciencia antes de inundarlo, la descomposición de esta vegetación consumirá el Oxígeno en el agua. Esto va en contra de la vida acuática, y puede causar invaluable pérdidas del recurso ictiológico. Como producto de la descomposición anaeróbica se incluye el sulfuro de hidrógeno, que es dañino para los organismos acuáticos y a su vez daña las turbinas del dique, y el metano, el cual es un gas de efecto invernadero. El dióxido de carbono, el gas preponderante que se genera, también agrava los riesgos de invernadero (Corrales, 2011).

En la Figura 2.2 se observa una fotografía de las estructuras y vegetación inundada por el Río Grande en Enero de 2016.

**FIGURA 2. 2 FOTOGRAFÍA DEL RÍO GRANDE INUNDADO DURANTE LA ÉPOCA DE LLUVIAS EN 2016**



FUENTE: FOTOGRAFÍA REALIZADA EN EL MUESTREO DE ENERO DE 2016  
ELABORADO POR: ANDREA NATALIA DELGADO MONTUFAR

Existen efectos añadidos que se producen debido a las variaciones en la hidrología de la cuenca del río los cuales incluyen cambios en el nivel freático, siguiendo el sentido de la corriente y en contraposición a ella, y aumentos en la salinidad de las

aguas; todos estos factores producen impactos ambientales directos (Corrales, 2011).

### **2.1.1.LA REPRESA EN EL RÍO GRANDE Y EMBALSE**

La represa Río Grande se ubica aledaña a la ciudad de Chone, a un kilómetro debajo de la unión del río Platanales con el río Grande ( 9.923.000N y 612.700E). Tomando como punto de partida la ciudad de Chone, se debe recorrer aproximadamente 15 Km para llegar al sitio de implantación de la represa mencionada anteriormente del recorrido los siete primeros kilómetros se deben recorrer por la carretera Chone-Santo Domingo y los ocho restantes por el camino que se inicia en San Andrés y que pasando por El Pueblo conduce a El Ceibo, El Aguacate y Piedra de Plata (Calidad Ambiental, 2013).

El dique construido en el río Grande tiene como propósito controlar las aportaciones del río Grande con una triple finalidad que es la de asegurar el aprovisionamiento de agua a la población e industria de la ciudad de Chone y poblaciones cercanas hasta el año 2038, satisfacer la el consumo de agua para una zona de riego de 2.220 ha y ayudar a amortiguar los riesgos de desbordamiento del río en la ciudad de Chone controlando las inundaciones del río Grande, el embalse logra un volumen útil de 75,74 Hm<sup>3</sup>, lo que permite controlar 52,76 Hm<sup>3</sup> anuales, destinando 40,81 Hm<sup>3</sup> (77%) a riego; y, el resto 11,95 Hm<sup>3</sup> (23%) para abastecimiento de la población y la industria (Calidad Ambiental, 2013).

En la Figura 2.3 se observa una fotografía de la represa desde la parte de arriba una vez que se realizó la limpieza de los jacintos del agua en Agosto de 2016 (Calidad Ambiental, 2013).



### FIGURA 2. 3 REPRESA DEL RÍO GRANDE DESPUÉS DE LA LIMPIEZA DE JACINTOS DEL AGUA



FUENTE: MUESTREO DE AGOSTO DE 2016

ELABORADO POR: ANDREA NATALIA DELGADO MONTUFAR

La puesta en marcha de esta represa produjo varios cambios en el medio ambiente y también para los habitantes de la zona. Se conoce que la zona ubicada aguas abajo de la presa, fue donde transcurrieron los cambios en la calidad del agua y también cambios del régimen de descargas sobre tierras antes anegables y sobre los consumidores dedicados a la parte agrícola tanto urbanos e industriales del agua; sobre la actividad pesquera, la estabilidad del lecho del río y de sus márgenes como dato se tiene que ésta sección del área tiene una extensión en longitud de alrededor de 7,5 km y va desde la presa del río Grande hasta la unión del río Grande con el río Mosquito, el cual que se halla siguiendo la corriente del río, a la altura de la ciudad de Chone, después el río recorre aproximadamente 5 km antes de empalmar con el río Garrapata para finalmente formar el río Chone. Se estableció

la medida en la confluencia de los ríos debido a que el caudal del río Grande y del río Mosquito es más alto que el caudal del río Garrapata de esta manera el control de aluviones en la ciudad de Chone no se lo atribuye exclusivamente al río Grande, sino también a los caudales de los ríos Mosquito y Garrapata. Así, el área de influencia indirecta se perturba de acuerdo a los límites nativos de las áreas de inundación en la cual está incluida la ciudad de Chone, es decir, que por la operación y mantenimiento de las obras referentes a la represa, las inundaciones en las áreas anteriormente mencionadas, habrían de ser menores y mucho más controladas, para lo cual se cuenta con los encauzamientos. De acuerdo al estudio de impactos del proyecto hay una vaga demarcación del área de influencia indirecta, y por lo tanto se usa la referencia de lo que abarca el área de toda la cuenca del río Chone. Sin embargo, para visto objetivamente y en caso de existir monitoreos de eficiencia del proyecto, debe acapararse a las áreas que se inundan (Calidad Ambiental, 2013).

El estudio ambiental indica varios efectos en la fase de llenado del embalse por ejemplo el limpieza, eliminación y gestión de vegetación en área a ser inundada, pero no se cumplió esta parte importante y se inundó las áreas sin que se haya realizado la deforestación previa. Se tomó en cuenta esta opción con el objetivo de retardar los procesos de eutrofización en el embalse, y por supuesto prolongar y mantener la calidad del agua embalsada y que esta pueda ser mejor aprovechada en actividades como riego de los cultivos, hidratación de los animales e incluso agua potable.

También se consideró el progreso agroforestal de zonas de reducción llamados cinturones arbóreos, lo que comprende el desarrollo de una zona de amortiguamiento forestal entre las cotas 70 y 80 msnm desde el borde del embalse, esta actividad vislumbra el sembrío y mantenimiento de especies nativas (Calidad Ambiental, 2013).

En cuanto a las fases de Operación y Mantenimiento del Proyecto se tomó en cuenta la presencia permanente del agua en el embalse, incluso una vez concluido su llenado, a diferencia de la actividad anterior que lo omitía.

## **2.2. EUTROFIZACIÓN DE LAS AGUAS**

### **2.2.1. INTRODUCCIÓN**

El agua compone a nuestro planeta en su mayor parte, es básico para el desarrollo de la vida y los procesos metabólicos que efectúan los elementos biológicos y las reacciones químicas que suceden dentro de la biósfera, de tal manera que un ecosistema acuático tiene varias características por ejemplo: las permanentes interacciones de los componentes tanto físicos, químicos y biológicos además de la transformación de la materia y la energía.

Los sistemas hídricos de igual manera que los sistemas terrestres gozan de varios niveles de resistencia a los cambios así como de la propiedad de resiliencia lo que quiere decir que tienen la capacidad de regresar a su estado inicial antes de que las acciones efectuadas en el lugar generen alteraciones incorregibles , de tal forma que estas alteraciones poseen límites y cuando estos límites son sobrepasados se puede ocasionar un estado de no retorno y cuando esto se produce en el ecosistema acuático el efecto es que queda permanentemente modificado, en caso de que el deterioro sea continuo el sistema hídrico cambia cada vez más a estados con propiedades de resistencia y resiliencia mucho más demandantes y complejos y por lo tanto se desvía cada vez más de su estado inicial; el anterior a la alteración.

### **2.2.2. PRODUCTIVIDAD DEL AGUA**

La productividad primaria de los lagos y de los embalses apenas empezó a ser importante durante los años setenta ya que se observaron fenómenos de multiplicación de algas y de plantas acuáticas, lo cual empezó a convertirse en un verdadero problemas en los cuerpos de agua que ya no podían ser aprovechados como fuentes de aprovisionamiento para el consumo humano.

La producción primaria de los ecosistemas generalmente está definida por los cuerpos que consumen la materia orgánica presente en los cuerpos de agua,

principalmente en el proceso fotosintético, y que lo hacen mediante reacciones químicas de óxido-reducción.. Dentro de este grupo para el caso de los ecosistemas acuáticos, se destacan las micro algas y las plantas acuáticas. Al ser medida esta productividad en el agua, se expresa la tasa de incorporación de carbono inorgánico a través del proceso fotosintético que lleva a cabo el fitoplancton (Ramirez, 1992).

El estado trófico del agua estará entonces determinado por la productividad de dicho cuerpo de agua, el cual se puede medir con la clorofila pero también con otros parámetros adicionales como la cantidad de Fósforo y clorofila, y la transparencia de la profundidad, en el Cuadro 2.1 se indican los valores de concentración en microgramos por litro para cada estado trófico.

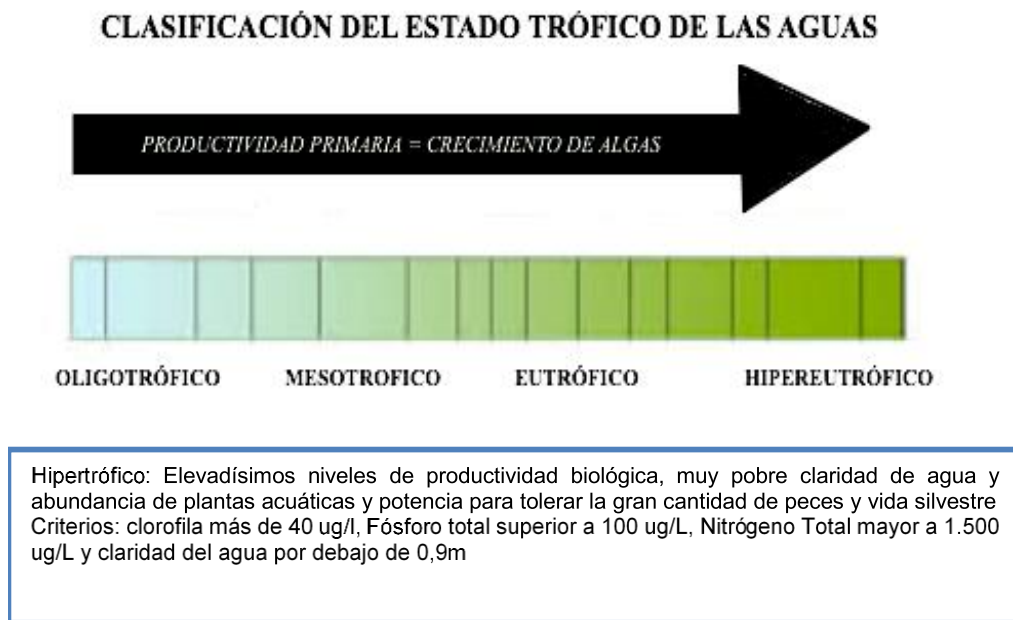
**CUADRO 2. 1 VALORES DE FÓSFORO PARA CADA ESTADO TRÓFICO**

<b>Categoría Trófica</b>	<b>Concentración de Fósforo ug/L</b>
Ultra trófico	<4,0
Oligotrófico	<10,0
Meso trófico	10-35
Eutrófico	35-100
Hipertrófico	>100

FUENTE: (OCDE, 1982)

La Figura 2.4 es un esquema claro de lo que anteriormente se indicó de los estados tróficos del agua y su correspondiente valor de concentración de nutrientes.

**FIGURA 2. 4 CLASIFICACIÓN DEL ESTADO TRÓFICO DE LAS AGUAS**



ELABORADO POR: ANDREA NATALIA DELGADO MONTÚFAR

En el presente estudio se analizó Fósforo como fosfatos lo mismo que equivale a 1 mg/L de fosfatos son 0,3261 mg/L de Fósforo, de modo que una de las importantes formas de caracterización de un cuerpo de agua, es el estudio de su estado trófico (del griego Trofein=alimento) o estado de alimentación, el que determinará su productividad. El término eutrofización designa al proceso que desarrollan algunos sistemas acuáticos debido al incremento en la cantidad de Fósforo y Nitrógeno presentes, este incremento de nutrientes provoca una intensa proliferación y almacenamiento excesivo de microalgas y plantas superiores (Ryding, 1992). En la Cuadro 2.2 a continuación se resumen las características de los sistemas de acuerdo a su estado trófico.

## CUADRO 2. 2 CARACTERÍSTICAS DE UN CUERPO DE AGUA DE ACUERDO A SU ESTADO TRÓFICO

FACTOR	SISTEMA OLIGOTRÓFICO	SISTEMA ESTRÓFICO
Nutrientes	Mínimas concentraciones; dinámica lenta	Altas concentraciones; Dinámica rápida
Oxígeno disuelto	Poca variación día- noche; alta disponibilidad tanto en la superficie como en fondo	Gran fluctuación día-noche; alta disponibilidad en la superficie y anoxia en el fondo
Comunidades	Poca biomasa; alta diversidad	Alta biomasa; baja diversidad
Transparencia	Alta; zona eufótica profunda	Baja; zona eufótica superficial.
Morfometría	Poca intervención generalmente cuerpos de agua de alta montaña	Alta influencia antrópica-, lagos pocos profundos en zonas cálidas y templadas
Apariencia	Aguas claras y limpias no se observa grandes masas de micro algas o vegetación acuática	Aguas de color verde o amarillo, densa vegetación acuática flotante o sumergida

FUENTE: (OCDE, 1982)

### 2.2.3. EUTROFIZACIÓN EN LOS EMBALSES

Los lagos, lagunas y presas tiene algunas diferencias entre las cuales se cuentan en la edad de los mismos, el origen que tuvieron, morfología, forma, ubicación de la cuenca, usos y dinámica limnológica y son ambientes que sufren procesos de envejecimiento o colmatación. Estos sistemas reciben el aporte de materiales provenientes de la cuenca, los cuales van sedimentando con el transcurso del tiempo, reduciendo el volumen de los cuerpos de agua. En este largo proceso, que puede abarcar periodos de miles de años, la profundidad y el área de los espejos de agua se van reduciendo, se produce una sucesión de especies vegetales que crecen desde las márgenes hacia el centro y los sistemas se transforman en humedales. Finalmente, los espejos de aguas desaparecen para dar lugar a ecosistemas terrestres. Este proceso de colmatación puede ser en algunos casos contaminante con un incremento gradual de la carga de nutrientes. Esta

transformación, lenta en la historia geológica de los ecosistemas y denominada eutrofización natural (Vicente, 2003).

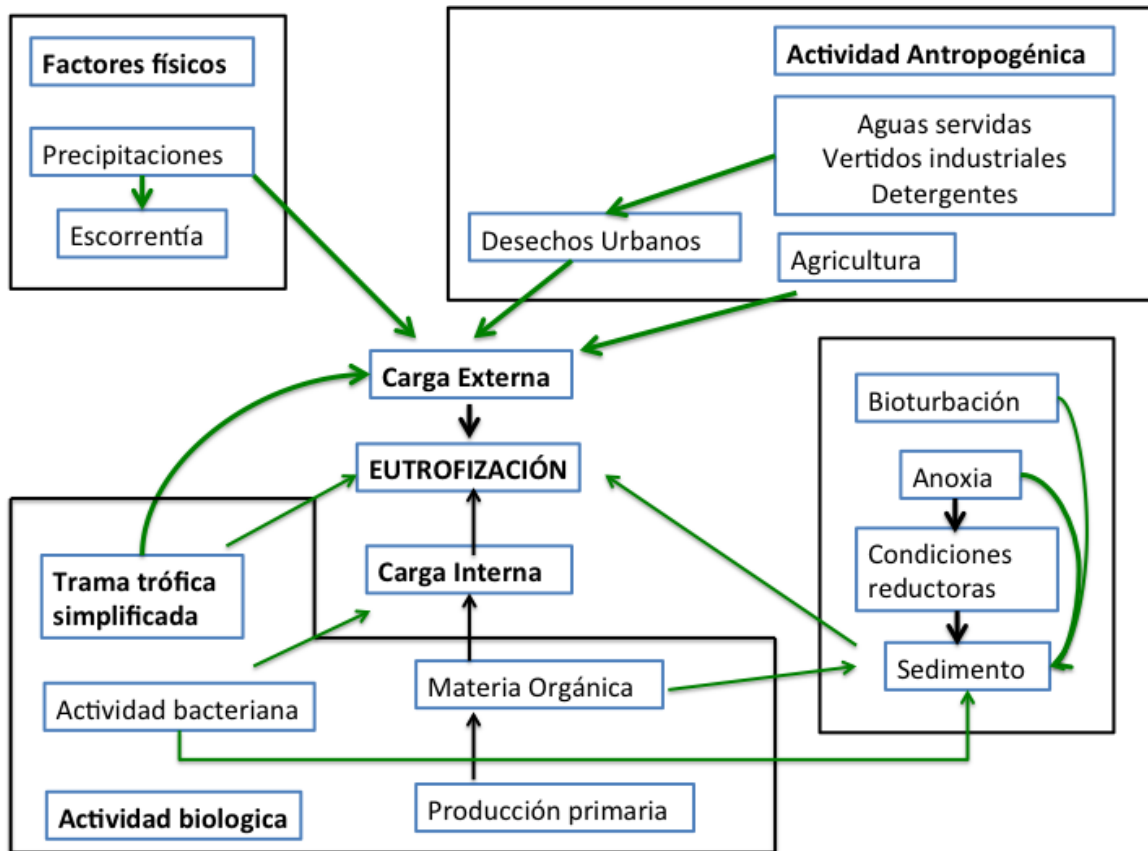
La eutrofización más que un problema simple de contaminación de las aguas, debería ser considerado como el cambio en la tasa de suministro de carbono y energía a un ecosistema, siendo este, un aumento de materia orgánica proveniente de una fuente ya sea de dentro o fuera del sistema hídrico que al generar un cambio elemental en la base energética esto puede influir a todo el sistema. Para el ecosistema acuático la eutrofización, sedimentación y pérdida de biodiversidad son los problemas más habituales y destructivos de los embalses, estos conocimientos se interrelacionan. Los embalses que se encuentran ubicados en valles de bosques tropicales tienden a recibir una gran descarga de materia orgánica que aumenta la eutrofización, pero la remoción del bosque que aporta dicha materia orgánica que aumenta el proceso de eutrofización (Nixon, 2009).

#### **2.2.4. CAUSAS DE LA EUTROFIZACIÓN**

La causa principal de la eutrofización es el aumento de la cantidad de nutrientes por varios tipos de vías, principalmente de las diferentes porciones de Fósforo y Nitrógeno. El incremento del estado trófico de un sistema puede ser el resultado de aportes externos o internos. La carga externa se produce por los materiales arrastrados por la acción de las lluvias y la erosión de la cuenca (Esteves, 1998). A ellos se adicionan el vertido de efluentes industriales, domésticos y el uso de fertilizantes en la producción agrícola. Dependiendo del tipo de sistema, las particularidades de la cuenca de descarga y las características químicas de las propias sustancias que son vertidas, varía la cantidad de nutrientes que llega a los sistemas acuáticos

En la Figura 2.5 se puede observar los factores importantes así como los procesos que desencadenan y conservan las respuestas del proceso de eutrofización.

**FIGURA 2. 5 ESQUEMA GRÁFICO DE LAS CAUSAS DE LA EUTROFIZACIÓN**



ELABORADO POR: ANDREA NATALIA DELGADO MONTUFAR

Existen varios efectos del incremento de nutrientes en los productores tanto primarios como secundarios en el caso de los productores primarios se encuentran el fitoplancton el cual está formado por micro algas fotosintéticas que viven suspendidas en el agua. Esta comunidad incluye especies de pequeño tamaño y de distintos orígenes evolutivos. Constituyen el principal productor primario del plancton y en ocasiones de todo el sistema acuático (Margalef, 1983).

La eutrofización genera la proliferación del fitoplancton debido a una mayor cantidad de nutrientes. Si bien este proceso se hace presente de diversas formas, todas incluyen un incremento de la biomasa, seguido por variaciones en las especies más fuertes y disminución de la diversidad. En términos generales la composición específica de los sistemas presenta marcadas diferencias en función del estado trófico (Nestor Mazzeo, 1997).



El proceso de eutrofización altera la comunidad de plantas acuáticas favoreciendo el aumento de la producción de plantas acuáticas, aunque también puede favorecer el crecimiento del fitoplancton y de micro algas adheridas a diferentes sustratos vivos o inertes. De esta manera se establece una competencia entre las comunidades de algas y plantas. A medida que aumenta la concentración de nutrientes plantas más tolerantes a la baja intensidad luminosa reemplazan a las plantas que son más sensibles a la limitación de luz solar y que poseen menores requerimientos nutricionales. Estas pueden desarrollar un amplio dosel de hojas por debajo de la superficie del agua para captar más luz, como la especie *Egeria densa* y *Potamogeton pectinatus*. Esta última especie se desarrolla en sistemas turbios e hipereutróficos, como el Lago Rodo . El aumento considerable de la concentración de nutrientes puede determinar un mayor desarrollo de las plantas flotantes libres o del fitoplancton (Nestor Mazzeo, 1997).

#### **2.2.5. PROCESO DE EUTROFIZACIÓN**

El proceso de eutrofización se produce cuando el agua de un cuerpo en estado oligotrófico almacena gran cantidad de nutrientes. Los cambios inician, y en primer lugar este incremento ayuda al desarrollo y la proliferación del plancton, lo que aumenta la turbidez del agua. Cuando desaparece la vegetación acuática sumergida, es obvio que se pierden alimentos, hábitats y el oxígeno disuelto (OD) de la fotosíntesis. Pero la pérdida de OD se empeora por lo siguiente: organismos fotosintéticos que también producen oxígeno componen el fitoplancton, al igual que sucede con todas las plantas verdes. Ya que ocupan la superficie, ésta se satura del gas y el exceso se escapa a la atmósfera. En un día con sol y en el que el agua este tranquila, se pueden apreciar las burbujas de oxígeno que son liberadas a la superficie, después de permanecer enclaustradas en las algas filamentosas. De esta forma, la fotosíntesis del fitoplancton no provee de oxígeno a las aguas más hondas, excepto durante ciertos momentos en las estaciones de primavera y otoño. El fitoplancton marchito se sedimenta y provoca en el fondo depósitos densos de detritos (Nebel B, 1999).

La abundancia de detritos beneficia la aparición de una gran cantidad de organismos descomponedores, la mayor parte de ellos son bacterias, cuyo impresionante crecimiento genera una demanda nueva de Oxígeno Disuelto en las aguas el mismo que se consume por su respiración.

La consecuencia es que el cuerpo de agua tendrá condiciones deficientes de Oxígeno y esto por consiguiente llevará a la asfixia de los peces y crustáceos. Mientras eso ocurre las bacterias aerobias estrictas progresan y se multiplican aprovechando el poco Oxígeno cada vez que está disponible, por lo que mantienen al agua sin Oxígeno disuelto de manera permanente, siempre que existan detritos que las alimenten. Las bacterias anaerobias aparecen en el fondo generando gases como el amoníaco y el sulfuro de hidrógeno. Dado todo este proceso también hay que considerar que en el agua va a seguir produciéndose la oxidación de materia orgánica y de otros compuestos, lo que también representa una demanda de oxígeno (Ongley, 1997).

#### **2.2.6. EFECTOS DEL PROCESO DE EUTROFIZACIÓN**

Existen un sin número de efectos en los cuerpos de agua por la eutrofización en principio se observa una gran alteración de la vida del ecosistema en donde se provoca una proliferación excesiva de algas, cianobacterias y macrófitos en lo cual indica que la cantidad de clorofila del agua está en niveles elevados. Los pigmentos clorofílicos son importantes en la medición de la eutrofización y se realizan a través de un fluorómetro donde los pigmentos de las algas se estimulan con luz de longitud de onda azul, emitiendo fluorescencia con longitud de onda roja. La fluorescencia se detecta por medio de un fotomultiplicador. A continuación, la muestra se acidifica para cambiar toda la clorofila a en feopigmentos y se mide en el fluorómetro nuevamente. En el presente trabajo no se analizó los fitopigmentos debido a que no se cuenta con el equipamiento en los laboratorios (Varela, 2013).

El crecimiento desmedido de los organismos anteriormente mencionados por lo general provoca oscuridad, lo cual impide que la luz ingrese hasta regiones profundas de la columna de agua. Las consecuencias inmediatas son el impedimento de que las plantas acuáticas realicen su proceso fotosintético a

medida que están en lugares cada vez menos profundos de la columna de agua y esto provoca el inminente retroceso en la producción de oxígeno libre; al mismo tiempo incrementa la actividad metabólica que consume Oxígeno realizada por los organismos descomponedores, que empiezan a recibir excedentes de materia orgánica forjados en la superficie (Nestor Mazzeo, 1997).

Una vez que se desencadena el proceso eutrófico en el cuerpo de agua el fondo del lecho marino se va transformando de forma progresiva en un ambiente anaerobio, y por lo tanto el constante aumento de la cantidad de gases como anhídrido sulfuroso ( $H_2S$ ), metano ( $CH_4$ ) y anhídrido carbónico ( $CO_2$ ), haciendo poco plausible la vida de la mayor parte de las especies que forman dicho ecosistema. Se da por tanto la muerte masiva de la biota en general, bioacumulación de sustancias tóxicas, aumentando la sedimentación en los cuerpos de agua, reduciendo la vida útil, incrementando la presencia de organismos patógenos y vectores de enfermedad (Olmos, 2000).

### **2.3. COMPOSICIÓN FÍSICO QUÍMICA DE LAS AGUAS SUPERFICIALES**

Las aguas superficiales son aquellas que se presentan encima de la superficie terrestre en ríos, lagos, embalses, etc. Estas aguas se generan por la escorrentía producida a partir de las lluvias o por el la salida a la superficie de aguas subterráneas. Se presentan de forma turbulenta, como sucede con: corrientes, ríos y arroyos, o calmadas si se habla de lagos, reservorios, embalses, lagunas, humedales, estuarios, océanos y mares (MacCarthur, 2014).

“La calidad de corrientes, ríos y arroyos, cambia en función del caudal que tengan dependiendo de las estaciones y puede variar de forma significativa a raíz de las cantidad de lluvia y los derrames accidentales. Los lagos, reservorios, embalses y lagunas generalmente muestran una presencia más baja de sedimentos en comparación a los ríos, pero a su vez están subyugados a impactos más fuertes considerando la actividad microbiológica. Los cuerpos de agua como lagos y reservorios, tienden a envejecer como resultado de procesos naturales, en un

período relativamente grande. Este proceso está afectado por la actividad microbiológica a la cual afecta directamente los niveles de alimento que posea el cuerpo de agua y que puede verse acrecentada por la actividad humana” (MacCarthur, 2014)..

La composición de las aguas superficiales sin la influencia de los efectos contaminantes de los pobladores de las zonas aledañas ha sido estudiada por diferentes autores con lo que se ha llegado a saber que las sales solubles se lavan de las formaciones geológicas y pasan a formar parte de la composición de las aguas por ejemplo la presencia de sales en las rocas como halita o yeso y de minerales fácilmente alterables como calcita, dolomita, pirita, olivino se lavarían en las escorrentías y las aguas adquieren características correspondientes a las sales que han sido incorporadas por las rocas presentes en la cuenca además de otros factores como la aridez que se refiere a la relación precipitación/escorrentía, que estipula la concentración de las sustancias disueltas resultantes de los dos procesos anteriores, la productividad primaria terrestre, que rige la transferencia de nutrientes (C, N, Si y K), la temperatura ambiente, que al igual que la actividad biológica del suelo controlan, la cinética de las reacciones de alteración (Leopold L. B, 1994).

Además de estos factores, los cuales alterarían a la cuenca completa o porciones de la misma, se debe considerar que un río se establece como una unidad estructural que instaura una serie de relaciones entre los diferentes tramos de su cauce, de tal forma que en su origen predominan los procesos de disolución y lavado, mientras que en los tramos inferiores, con aguas más lentas y mayores tiempos de estadía, tienen más importancia los equilibrios suelo/agua. Por otra parte, están las relaciones entre la producción primaria y los procesos respiratorios de las comunidades biológicas, así como también, la secuencia evolutiva desde los tramos de origen hasta la desembocadura. El desarrollo temporal de un río tiene ligadas variaciones importantes en su caudal, con sucesión de períodos de aguas rápidas como efecto de las precipitaciones, con otros de aguas basales en los que las interacciones entre las aguas subterráneas y las fluviales son las preponderantes.

Para cada situación las relaciones concentración-caudal pueden ser diferentes (Helmer, 1994).

Finalmente, los episodios excepcionales de crecidas deben de ser considerados como situaciones normales de un río, que se repiten con una cierta frecuencia y de los que se derivan, en general, cambios muy dramáticos en su composición, principalmente en su material particulado. De todas estas consideraciones se colige que, aun entre lo que se puede llamar como «condición natural» de un río, existen toda una serie de factores que pueden establecer que su composición cambie en el tiempo y en el espacio en cantidades que pueden superar varios ordenes en su medida. A pesar de ello suelen usarse como composiciones de referencia de esa situación los datos respectivos a las aguas basales a partir de valores promedio de varios años (Leopold L. B, 1994).

### **2.3.1. INFLUENCIA DEL MATERIAL GEOLÓGICO**

La geología de la cuenca de cada río es uno de los factores más importantes a tener en cuenta para determinar la calidad del agua. Los grandes ríos tienen cuencas que están constituidas de forma normal por diferentes litologías, por lo que es difícil determinar en ellos la influencia de la geología, aun en el caso de que se emprenda una red de análisis pormenorizada a lo largo del cauce (Macias, 1993).

Se han realizado varios estudios para determinar la influencia de la geología sobre la composición físico y química de las agua en los ríos, lo cual ha llevado a concluir que es irrefutable su influencia, dentro de los cuales se ha encontrado que los pH del agua siguen, de mayor a menor de acuerdo a la secuencia de formaciones geológicas: calizas > serpentinitas > rocas básicas y metabásicas > esquistos > granito > pizarras. El contenido en Calcio y Magnesio en las aguas, es mínimo, a excepción de las rocas calizas y serpentinitas, está en clara dependencia de la composición de la roca (Macias, 1993).

### 2.3.2. INFLUENCIA DE OTROS FACTORES

Entre los factores que influyen la composición de las aguas se encuentra el clima de la zona, las precipitaciones y evaporación, la mineralización de los materiales orgánicos existentes en los suelos de bosques y matorrales y de los que es imprescindible enfatizar, los derivados del Carbono, Nitrógeno y Fósforo, con un origen casi exclusivo en estos procesos, así como el Potasio, Calcio y Magnesio, con un origen compartido con los procesos de alteración de las rocas

## 2.4. ANIONES

### 2.4.1. CLORUROS

“Los cloruros son combinaciones que tienen un átomo de Cloro en estado de oxidación formal -1. Así que pertenecen al estado de oxidación mínimo de este componente ya que presenta completada la capa de valencia con ocho electrones” (Chang, 2007).

“Los cloruros inorgánicos contienen el anión  $\text{Cl}^{-1}$  y por esta razón son sales del ácido clorhídrico (HCl) Por lo general son sustancias sólidas que no tienen color con un alto punto de fusión. A veces la unión con el metal podría poseer carácter covalente. Es evidente en el cloruro de mercurio (II) ( $\text{HgCl}_2$ ) que sublima a temperaturas que son muy bajas. De ahí que esta sal antiguamente era llamada sublimato” (Chang, 2007).

“El cloruro de hierro (III) ( $\text{FeCl}_3$ ) de la misma forma muestra algún tipo de propiedad covalente. Así puede ser sacado de una disolución con alta concentración de cloruro con éter y en ausencia de agua de cristalización sublima a altas temperaturas” (Chang, 2007).

“Gran parte de los cloruros exceptuando principalmente al cloruro de mercurio (I) ( $\text{Hg}_2\text{Cl}_2$ ), el cloruro de plata ( $\text{AgCl}$ ) y el cloruro de talio (I) ( $\text{TlCl}$ ) son muy solubles en agua por lo tanto en las muestras de aguas se encuentran en forma de ion y son

fácilmente medibles a través de métodos adecuados en condiciones de laboratorio” (Chang, 2007).

“En contacto con oxidantes fuertes (permanganato, bismutato, agua oxigenada, hipoclorito, etc.) los cloruros pueden transformarse por oxidación a cloro elemental. La cual también se desarrolla por medio de la electrólisis. Tal es así que la electrólisis del cloruro sódico en disolución se constituye como el método más usado para conseguir este elemento como también el hidróxido de Sodio” (Chang, 2007).

Los cloruros se presentan en todas las aguas naturales a concentraciones muy variadas. Normalmente, el contenido de cloruro incrementa a medida que aumenta a cantidad de minerales. Por lo general, las fuentes de las tierras altas y de las montañas tienen bajo contenido de cloruros, mientras que los ríos y las aguas subterráneas tienen cantidades interesantes. Los niveles de cloruro de las aguas marinas y oceánicas son muy altos porque almacenan los residuos productos de la evaporación parcial de las aguas naturales que llegan hacia ellos (Perry L. McCarty, 2001).

Los cloruros a concentraciones moderadas no aportan peligros para los humanos. Las concentraciones mayores de 250 mg/L dan un gusto salado al agua, que es lo que rechazan las personas. Por esta razón los cloruros se limitan a 250 mg/L en los reservorios destinados para uso público. En muchas zonas del mundo donde no hay los abastecimientos son frecuentes las veces que el agua contiene hasta 2.000mg/L sin que produzcan efectos contraproducentes, una vez que el cuerpo humano se ha adaptado al agua. Estos iones son muy importantes en la práctica de la ingeniería ambiental, ya que se usan hasta cierto punto como trazadores. En la mayoría de casos su uso no es conveniente debido a las cantidades que se necesitan para producir incrementos significativos en el nivel de cloruro, y por su tendencia a producir corrientes de densidad. El uso de estos como trazadores ha sido eliminado y en cambio se usa en gran medida medios orgánicos que pueden ser medidos con precisión aun en cantidades de trazas (Perry L. McCarty, 2001).

En las aguas superficiales el factor principal que aumenta la conductividad de las mismas son los cloruros por lo tanto es un indicador de la salinidad y cercanía de las cuencas hidrográficas a las costas de los océanos (Burns, 2003).

#### 2.4.2. FOSFATOS

“El grupo fosfato es un ion poliatómico de fórmula empírica  $\text{PO}_4^{3-}$  y una masa molecular de 94,97 daltons; su composición está dada por un átomo céntrico de Fósforo bordeado por cuatro átomos completamente similares de oxígeno en disposición tetraédrica. El ion fosfato tiene una carga formal negativa y es la base conjugada del ion hidrogenofosfato  $\text{HPO}_4^{2-}$ , que a su vez es la base conjugada del ion dihidrógeno fosfato  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ , a su vez base conjugada del ácido fosfórico  $\text{H}_3\text{PO}_4$ . Es una molécula polivalente (el átomo de Fósforo tiene 5 electrones en su capa de valencia). El fosfato es también un componente organofosforado con fórmula  $\text{OP}(\text{OR})_3$ . En disolución acuosa, el fosfato puede presentarse en cuatro formas. Cuando el pH es muy básico es preponderante el ion fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), mientras que al presentarse una basicidad intermedia se halla en forma de ion fosfato de hidrógeno ( $\text{HPO}_4^{2-}$ ). En el caso de que sea una baja acidez, el ion dihidrógeno fosfato ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ). En cambio con una mayor acidez, se presenta como ácido fosfórico ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ )” (Chang, 2007).

La determinación del fosfato ha crecido en importancia vertiginosamente en la práctica de la ingeniería ambiental a medida que los profesionales han descubierto las más variadas formas en que los compuestos del Fósforo aquejan los fenómenos medioambientales. Los únicos compuestos inorgánicos del Fósforo que son interesantes en la puesta en marcha de la ingeniería son los fosfatos en sus formas moleculares deshidratadas, usualmente llamadas poli fosfatos o fosfatos condensados. Generalmente, el Fósforo agrupado en forma estructural tiene poca importancia (Perry L. McCarty, 2001).

En las aguas superficiales de acuerdo a su pH existe el Fósforo en forma de uno de los iones anteriormente mencionados. Este ion en particular es importante debido a que su exceso en el agua provoca la eutrofización y su medida permitió



identificar el estado trófico de las aguas en las aguas estudiadas en la presente investigación.

#### **2.4.3. NITRITOS**

“El ion nitrito es  $(\text{NO}_2)^-$  es un anión angular que posee una disposición similar a la del ozono y que tiene una configuración electrónica. Los nitritos ocasionalmente forman sales o ésteres a partir del ácido nitroso ( $\text{HNO}_2$ ). Naturalmente surgen por oxidación biológica de las aminas y del amoníaco o bien por reducción del nitrato en situaciones anaeróbicas. El sector industrial lo obtiene al disolver  $\text{N}_2\text{O}_3$  en disoluciones básicas” (Chang, 2007).

Esta presentación del Nitrógeno escasas veces se encuentra en concentraciones mayores que 1 mg/L, incluso en los vertidos de las plantas de tratamiento de desechos. Su concentración en aguas superficiales y profundas es bastante menor que 0,1 mg/L y por esta razón se necesitan métodos sensibles para su medición (Perry L. McCarty, 2001).

#### **2.4.4. NITRATOS**

“En los nitratos se presenta el anión  $(\text{NO}_3)^-$  el Nitrógeno que está en estado de oxidación +V se halla en la parte central de un triángulo formado por los tres oxígenos. La estructura es equilibra por razones mesoméricas. Los nitratos inorgánicos se forman naturalmente por la desintegración de los compuestos nitrogenados tales como las proteínas, la urea, etc.. En esta desintegración se forma amoníaco o amonio respectivamente. Cuando hay oxígeno los microorganismos de tipo nitrobacter lo oxidan convirtiéndolo en ácido nítrico el cual puede atacar a cualquier base (por lo general carbonatos) que existe en el medio formando el nitrato correspondiente” (Abad, 2014).

Se forman también cuando las descargas eléctricas de las tormentas a partir del Nitrógeno y del Oxígeno del aire generan los óxidos de Nitrógeno. Con el agua de la lluvia se forma nuevamente el ácido nítrico que acomete a los carbonatos y

otros minerales básicos que halla en el medio para formar los nitratos correspondientes. Hoy en día en los procesos de combustión a temperaturas elevadas se generan cantidades importantes de óxidos de Nitrógeno. Estos siguen un mecanismo similar de transformación en nitratos que ha sido mencionado para los óxidos de Nitrógeno constituidos de manera natural.

“Una parte primordial de los fertilizantes son los nitratos. Las plantas mediante sus procesos normales los truecan una vez más en compuestos orgánicos nitrogenados como los aminoácidos. Gran cantidad de plantas guardan los nitratos en sus partes verdes y si se cocinan estos alimentos hay riesgo de que otros organismos los conviertan en nitritos por reducción, y que además al mismo tiempo producen nitrosaminas que pueden estar vinculadas con el cáncer. Por eso es recomendable, , no calentar varias veces las espinacas por que suelen tener un cierto contenido en nitrato” (Jose Maria Ximenez Abbad, 2007).

#### **2.4.5. SULFATOS**

“Los sulfatos inorgánicos son las sales del ácido sulfúrico. Naturalmente se hallan a modo de yeso, o aljez, (sulfato de Calcio dihidratado  $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ ), baritina (sulfato de bario) o sulfato de Sodio ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ). Por oxidación aparece cuando los sulfuros de muchos elementos entran en contacto con el oxígeno del aire” (Jose Maria Ximenez Abbad, 2007)

El ion sulfato es uno de los aniones más copiosos en las aguas naturales. Es importante en el aprovisionamiento de agua debido a sus efectos catárticos en los humanos cuando se manifiesta en cantidades excesivas. De ahí que en las aguas que tienen la finalidad de consumo humano el límite máximo recomendado es de 250 mg/L. Debe tomarse muy en cuenta que los sulfatos en cantidades apreciables pueden formar costras duras en las calderas e intercambiadores de calor en los abastecimientos de agua públicos e industriales. Los sulfatos además son directamente responsables de dos problemas serios: el olor y la corrosión de las tuberías, ambos asociados con la manipulación y el tratamiento de las aguas residuales. (Perry L. McCarty, 2001).

## 2.5. CATIONES

Los Cationes analizados en el presente trabajo de investigación fueron Potasio, Sodio, Calcio y Magnesio. “Un catión es un ion (sea átomo o molécula) con carga eléctrica positiva, en otras palabras, que ha perdido electrones. Los cationes se determinan por su estado de oxidación positivo. Producto de que han ganado o perdido electrones de su dotación, en un origen neutro, a este fenómeno se lo llama ionización” (Olave, 2013).

El Calcio lo vemos presente en el agua como un ion cargado de dos electrones ( $\text{Ca}^{+2}$ ), sus fuentes son anfíbolos, feldspatos, piroxeno, aragonita, calcita, dolomita, y minerales arcillosos. Este es un catión que está muy presente en aguas subterráneas y superficiales (Olave, 2013).

Valores típicos en Aguas Superficiales UNESCO (1996): < 15 mg/L y en ciertos casos por su cercanía a las rocas se puede presentar entre 0 - 1.000 mg/L.

El Magnesio se presenta presente en el agua natural como ( $\text{Mg}^{+2}$ ), su origen se produce por la acción atmosférica sobre las rocas con contenidos minerales. Valores Típicos en Aguas Superficiales UNESCO (1996): 1 - 100 MG/L (Faure, 1992): 3,4 mg/L

### 2.5.1. SODIO

Proviene, primordialmente, de excretas, fertilizantes, industrias de papel y celulosa. Suele medirse en aguas que van a destinarse al consumo humano o agrícola, específicamente en irrigación.

Valores Típicos en Aguas Superficiales UNESCO (1996): 1 - 100.000 mg/L (Faure, 1992): 5,2 mg/L

### 2.5.2. POTASIO

Se presenta en mínimas concentraciones en las aguas naturales, ya que las rocas que lo contienen son relativamente resistentes a la erosión producida por la acción

atmosférica.

Valores Típicos en Aguas Superficiales UNESCO (1996): < 10 mg/L aguas no contaminadas < 50 mg/L aguas superficiales que reciben aguas domésticas Faure (1992): 1,3 mg/L

### **2.5.3. HIERRO Y MANGANESO**

La fauna de los ríos se ve afectada negativamente por la presencia de hierro y manganeso, ya que cuando estos elementos se oxidan, se precipitan y forman una capa que recubre el lecho inhibiendo el crecimiento de las plantas acuáticas y la fauna bentónica.

Valores Típicos en Aguas Superficiales MOORE(1976): Hierro < 4,0 mg/L OPS (1987): Manganeso < 0,6 mg/L.

## **2.6. METALES**

En los sistemas acuáticos se disuelven numerosas sales y sustancias dependiendo de sus solubilidades. Las estructuras geológicas y la presencia de varios materiales sobre la superficie son fuente de una gran variedad de iones disueltos en aguas superficiales, los que facilita conocer, de no haber existido actividad antrópica que pudiera modificarlo, que tipo de suelo atraviesa un cauce. Algunos iones se presentan en cantidades mayoritarias y otros lo hacen en cantidades traza como los metales pesados que son primordiales para el crecimiento correcto de microorganismos, plantas y animales (Fostner, 2014).

Los seres humanos han usado los metales desde los albores de las civilizaciones más primitivas. Muchas veces ello ha llevado a incorporar al agua de consumo humanos niveles inaceptables de metales. En los análisis de metales se consideran Aluminio, Arsénico, Cadmio, Cromo, Cobre, Hierro, Mercurio, Manganeso, Plomo y Zinc (Al, As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb y Zn) de acuerdo a los objetivos de los estudios, en este caso se realizó únicamente el análisis de hierro.

### **3. CAPÍTULO TRES: MATERIALES Y MÉTODOS**

En este trabajo de investigación se realizó mediciones de campo y de laboratorio, debido a estas razones el tipo de investigación fue no experimental ya que no existió un control de las variables, como las condiciones climáticas que se presentaron en el momento de los muestreos. Por otro lado la investigación fue también de tipo descriptivo debido a que se realizó una recolección de datos como la temperatura todo lo que se recolecto (Astivera, 2000).

#### **3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL PROYECTO**

La ciudad de Chone se encuentra ubicada en la parte occidental del Ecuador en la provincia de Manabí en las coordenadas: 601.512 E, 9.923.462 N zona 17 Sur (FAO, 2008). La zona de estudio seleccionada es la parte alta de la cuenca del río Chone, específicamente se seleccionó el tramo del río Grande y sus afluentes, hasta el lugar donde localiza la presa del PPMCH en la ciudad de Chone. Los puntos de muestreo fueron seleccionados considerando las características físico químicas de las aguas que se analizaron en años previos en los estudios entre los cuales está la “Determinación de la salinidad del agua y suelos del proyecto propósito múltiple Chone, Manabí – Ecuador”, realizado por Ing. Briones Torres Mayra Alejandra y dirigido por Ing. David Carrera V., Ph. D. En el año 2015.

A continuación se presentan los cuadros que detallan la ubicación de todos los puntos del muestreo de los años 2014, 2015 y 2016. Los puntos son los mismos sin embargo para el estudio del año 2016 y 2017 se eligieron los puntos críticos para puntualizar la investigación sobre los lugares del sistema hidrográfico en donde existe una potencial eutrofización.

En el Cuadro 3.1.a se muestra de manera pormenorizada la ubicación de los puntos de muestreo en que fueron tomadas las muestras para su estudio en los años 2014 y 2015.

**CUADRO 3. 1 INFORMACIÓN ACERCA DE LOS PUNTOS DE MUESTREO EN LA ÉPOCA DE LLUVIAS**

a)

No.	Descripción del sitio de muestreo en época de lluvias intensas	X	Y	msnm	Fecha	Fecha
1	Retiro Jacinto Victoriano Vargas	620790	9913592	125	Febrero de 2014	Febrero de 2015
2	Estero camino al Retiro	620909	9913958	145		
3	Estero camino al Retiro	620982	9914298	147		
4	Estero camino al Retiro	620578	9915114	138		
5	Estero camino al Retiro	620385	9915628	141		
6	Estero 1	620292	9916138	146		
7	Estero 2	620233	9916138	132		
8	Dos bocas izquierda (derecha) conjunción	620750	9916782	68		
9	Río Grande	619318	9918208	51		
10	Río Grande, después de río Cañitas	618244	9918770	45		
11	Estero llega a Río Grande	617158	9918395	46		
12	Entrada Río Grande	616224	9919260	43		
13	Río Grande desembocadura Platanales	612907	9922044	38		
14	Punto en la Presa MPCH	612518	9922478	55		
15	Dos bocas antes izquierda	620752	9916762	76		
16	Dos bocas derecha	620752	9916782	76		
17	Arroyo cerca de cabecera Juan Cayo	606737	9935382	409		
18	Estero arriba Vista de Balsa ( Cañitas)	619401	9920474	105		
19	Estero siguiente Balsas (Río Cañitas)	619578	9919650	58		
20	Estero buscando Rio Cañitas - La Balsa	619277	9919722	167		
21	Estero siguiendo la Balsa (Río Cañitas)	619183	9919702	40		
22	Estero camino a Río Grande – Cañitas	618878	9919224	56		
23	Camino Balsa, Río Cañitas antes del río Grande	618253	9918770	46		
24	Inicio del río Coñaque	617671	9916432	51		

No.	Descripción del sitio de muestreo en época de lluvias intensas	X	Y	msnm	Fecha	Fecha
25	Estero Afluente, Coñaque "Escuela Fiscal Mixta Vicente Gobeá"	617864	9916480	27		
26	Estero dos al Coñaque	617948	9916822	56		
27	Estero Tres antes Coñaque	617659	9917010	46		
28	Coñaque despues de estero	617678	9917024	35		
29	Cascada va a Coñaque	617608	9917394	47		
30	Estero va al Coñaque	617670	9917658	32		
31	Cascada Coñaque	617440	9917869	43		
32	Cascada Río Coñaque	617846	9917998	43		
33	Afluente Coñaque	617368	9918060	44		
34	Río Coñaque, antes del río Grande.	617334	9918268	50		
35	Río Grande, antes de Coñaque	617344	9918266	47		
36	Estero a Sánchez	614732	9922336	38		
37	Río Sánchez	614730	9922332	37		
38	Río Sánchez entrada a Río Grande	614086	9921582	39		
39	Estero llega a boca de Platanales	612367	9920224	37		
40	Río Platanales	612370	9920232	35		

FUENTE: TRABAJOS DE TITULACIÓN DE LOS AÑOS 2014 Y 2015

En el Cuadro 3.1.b por otro lado se muestran los puntos muestreados en el año 2016 los mismos que son los más críticos en cuanto a la concentración de nutrientes y por lo tanto son los más propensos a la Eutrofización.

b)

No.	Descripción del sitio de muestreo en época de lluvias intensas en Enero de 2016	X	Y	Msnm	Fecha
1	Nacimiento del río Coñaque , agua de color verdoso, sin olor, río ligeramente caudaloso, tiene agua todo el año	617623	9916378	41	Enero de 2017
2	Nacimiento del río Coñaque , agua de color verdoso, sin olor, río ligeramente caudaloso, tiene GU todo el año	617862	9916464	65	
3	Agua más turbia que punto anterior , estero el Burro se observan peces, pangoras viva	617959	9916310	43	
4	Cascada Japon	617940	9916996	49	
5	Se toma la muestra desde la lancha en el punto salida del Coñaque al río grande	617374	9918272	50	

6	Sector Camarones, finca el naranjo, Espejo, Altamente Turbio color verde , presencia de abundantes residuos vegetales en descomposición	619200	9919780	37
7	Estero Camarones agua verdosa sin caudal pocos residuos vegetales	619217	9919716	21
8	Salida Cañita al rio grande	618273	9918732	51
9	Salida boca de Sanchez, embarcadero agua verdosa con poco caudal sin olor	614134	9922044	50
10	Platanales	612635	9920844	50
11	Cascada agua limpia se toman los habitantes	612760	9920912	45
12	Platanales y rio grande, ligeramente turbia sin materia vegetal, casi final de la presa	612945	9922086	57
13	Final de la presa 3 frascos, el agua es ligeramente turbia sin olor.	612893	9922166	44

FUENTE: MUESTREO DE LA ÉPOCA DE LLUVIAS DEL AÑO 2016

En el Cuadro 3.2.a se detallan las ubicaciones de los muestreos realizados en los estudios previos de los años 2014 y 2015 en total se estudiaron 40 puntos

### CUADRO 3. 2 INFORMACIÓN ACERCA DE LOS PUNTOS DE MUESTREO EN LA ÉPOCA DE ESTIAJE

a)

No .	Descripción del sitio de muestreo en época de estiaje	X	Y	msnm	Fecha	Fecha
Río Grande						
1	Cascada antes del río Grande	620800	9913564	139	Julio de 2014	Agosto de 2015
2	Río Grande después de Cascada	620817	9913596	122		
3	Estero 6 nacimiento río Grande	620909	9913956	150		
4	Estero 5 nacimiento río Grande	620592	9915182	140		
5	Estero 4 nacimiento río Grande	620366	9915606	143		
6	Estero 3 nacimiento río Grande	620299	9916126	143		
7	Estero 2 nacimiento río Grande	620208	9916388	152		
8	Río grande antes de Dos Bocas	620753	9916746	56		
9	Río Grande después de Dos Bocas	620752	9916788	62		
10	Estero 1 hacia nacimiento Río Grande	619601	9917314	156		
11	Estero 7 hacia nacimiento Río Grande	619839	9917664	56		
12	Estero 6 nacimiento Río Grande	619535	9918045	52		
13	Estero 5 hacia nacimiento Río Grande	619376	9918260	54		
14	Río Grande 2	619288	9918190	52		



No	Descripción del sitio de muestreo en época de estiaje	X	Y	msnm	Fecha	Fecha
15	Estero 4 hacia nacimiento río Grande	619297	9918196	37		
16	Estero 3 hacia nacimiento río Grande	619196	9918162	48		
17	Estero 1 hacia nacimiento río Grande	618569	9918538	113		
18	Estero El Naranjo, Escuela Octavio Zambrano	617906	9918702	50		
19	Río Grande antes de Coñaque	617328	9918278	39		
20	Río Grande después de Coñaque	617306	9918298	39		
21	Estero antes de Coñaque	617163	9918378	51		
22	Río Grande antes de Coñaque	620752	9916788	62		
23	Río Grande después de Coñaque	617150	9918420	45		
24	Estero 2 hacia nacimiento Río Grande	617127	9918398	29		
25	Estero Agua Fría	616770	9918622	38		
26	Río Grande antes de Caracolillo	616279	9919246	40		
27	Estero Caracolillo	616267	9919236	37		
28	Río Grande después de río Caracolillo	616251	9919262	40		
29	Presa	612586	9922469	39		
Estero Guayacán						
30	Estero Guayacán nacimiento, Unión de Pomarosa y Guayacán	622921	9915388	164	Julio de 2014	Agosto de 2015
31	Río Guayacán antes de Pomarosa	622921	9915388	164		
32	Estero Pomarosa	622921	9915388	164		
33	Río Grande camino a estero Guayacán	621335	9916702	75		
34	Estero 1 camino a estero Guayacán	620777	9916798	55		
35	Estero Guayacán antes de dos Bocas	620750	9916774	46		
Estero Juan Cayo						
36	Nacimiento Estero Juan Cayo	620948	9917890	118	Julio de 2014	Agosto de 2015
37	Estero 2 hacia nacimiento estero Juan Cayo	620762	9917792	71		
38	Estero 1 hacia nacimiento Estero Juan Cayo	620267	9917672	62		
39	Estero Juan Cayo antes de llegar al poblado	620197	9917634	56		
40	Estero Juan Cayo	620143	9917604	53		
Río la Balsa						
41	Estero 8 camino al río Balsa	622925	9921118	128	Julio de 2014	Agosto de 2015
42	Estero 9 camino al río Balsa	622919	9921100	110		
43	Estero 7 camino al río Balsa	622511	9921188	125		
44	Estero 6 camino al río Balsa, el aposento	621144	9921060	124		

No	Descripción del sitio de muestreo en época de estiaje	X	Y	msnm	Fecha	Fecha
45	Estero 5 camino al río Balsa	621010	9920448	130		
46	Estero 4 camino al río Balsa	619753	9919956	126		
47	Estero 3 camino al río Balsa	619403	9920460	116		
48	Estero 2 camino al río Balsa	619166	9920158	91		
49	Estero camino al río Balsa	619208	9920070	39		
50	Estero El regreso, antes del río Cañitas	619192	9919716	27		
51	Río Cañitas	619182	9919692	42		
52	Estero el Regreso antes del río Grande	618279	9918764	55		
Río Coñaque						
53	Río Coñaque nacimiento	617661	9916406	66	Julio de 2014	Agosto de 2015
54	Estero más adentro del río Coñaque	617860	9916446	61		
55	Estero adentro río Coñaque	617965	9916804	60		
56	Cascada 2 río Coñaque	617918	9916986	52		
57	Estero Izquierda antes del Coñaque	617649	9917014	47		
58	Estero derecho antes de llegar al Coñaque	617637	9917008	47		
59	Cascada en río Coñaque	617629	9917379	55		
60	Estero Coñaque	617307	9918250	39		
Estero Soleste						
61	Escuela Luis Durán, Vera Sánchez	614767	9922392	36	Julio de 2014	Agosto de 2015
62	Río Sánchez después de estero Soleste	614709	9922348	33		
63	Río Sánchez antes de estero Soleste	614733	9922338	33		
Boca de Platanales						
64	Río Boca de Platanales, nacimiento	610469	9918062	84	Julio de 2014	Agosto de 2015
65	Río Boca de Platanales, más arriba	610778	9917772	73		
66	Estero hacia Boca de Platanales	612276	9918048	70		
67	Río Boca de Platanales	612299	9918056	66		
68	Río Boca de Platanales, arriba	612539	9918858	54		
69	Estero hacia Boca de Platanales	612493	9919188	45		
70	Río Boca de Platanales	612374	9920236	47		
71	Boca de Platanales antes de llegar a río Grande	612820	9921738	41		

FUENTE: TRABAJOS DE TITULACIÓN DE LOS AÑOS 2014 Y 2015

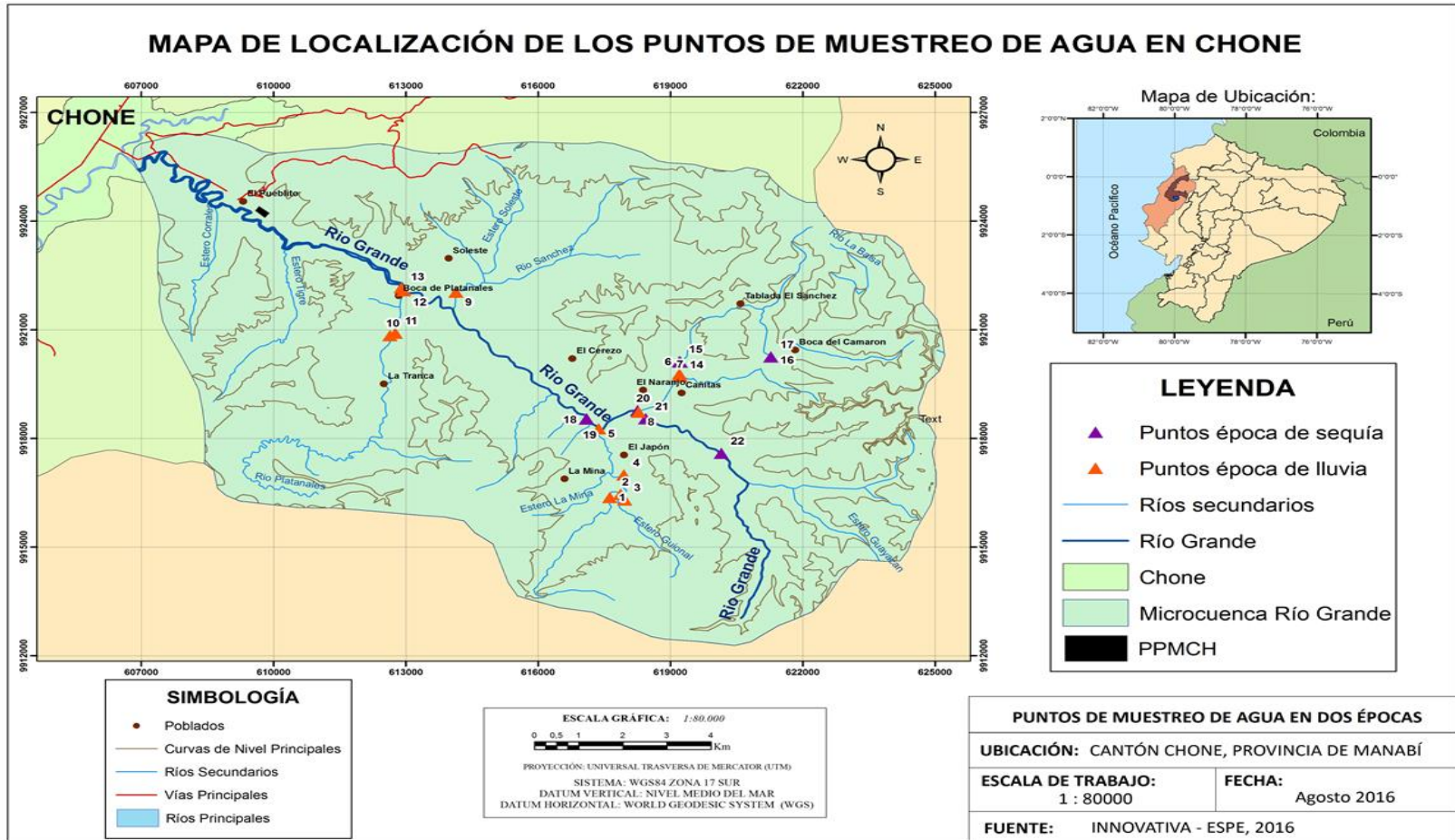
El Cuadro 3.2.b describe la información concerniente a los puntos de muestreo en la época de estiaje en Agosto de 2016.

b)

No.	Descripción del sitio de muestreo en época de estiaje en Agosto de 2016	x	y	msnm	Fecha
1	Estero a espejo, aguas clara poco turbulentas con abundante vegetación en las orillas, se observan peces	619217	9920114	41	23/08/2016
2	Estero hacia naranjo, agua clara sin turbulencia sin residuos vegetales cerca 14 ligeramente turbia	619198	9920128	59	23/08/2016
3	Estero el Aposento, agua cristalina poco profunda, sin turbulencia se observa vida acuática	621274	9920260	84	23/08/2016
4	Estero Camarones, agua poco turbia sin turbulencia se observa vida acuática	621274	9920258	96	23/08/2016
5	Embarcadero rio grande, presencia de lechuguines, agua turbia sin turbulencia	617091	9918550	56	23/08/2016
6	Agua turbia presencia de lechuguines	617091	9918544	62	23/08/2016
7	Cañita, agua ligeramente turbia, sin caudales, pocos lechuguines	618254	9918772	63	23/08/2016
8	Embarcadero el zapote, agua muy turbia, presencia de algas	618436	9918550	61	23/08/2016
9	Juan Cayo, estero limpio presencia de vida acuática	620150	9917594	49	23/08/2016

El mapa de las ubicaciones de los puntos anteriormente descritos en los cuadros fue realizado empleando el software ArcGIS 9,2 del laboratorio de sensores remotos de la ESPE y empleando los shapefiles tomados de los trabajos del Instituto Geográfico Militar y la Agencia de Regulación Minera ARCOM. En el mapa de la Figura 3.1 se graficaron los puntos críticos en cuanto a la eutrofización.

FIGURA 3. 1 MAPA DE LOCALIZACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO DE AGUA EN CHONE



FUENTE: (SIN, 2015)  
 ELABORADO POR: ANDREA NATALIA DELGADO MONTÚFAR

## 3.2. METODOLOGÍA DE MUESTREO Y ANÁLISIS DEL MUESTREO DE AGUAS

### 3.2.1. MUESTREO DE AGUAS

En los objetivos se tiene como el primer paso un diseño del muestreo de las aguas para el presente estudio, en base a los estudios de los años anteriores 2014 y 2016 en donde se realizó un muestreo sistemático de la totalidad de la cuenca del río Grande. En este muestreo se recopiló todos los datos referentes a los fosfatos de los puntos ya muestreados y posteriormente se eligió únicamente los puntos más críticos para la eutrofización. A continuación se presenta en el Cuadro 3.3 los datos de los fosfatos más críticos para la eutrofización de los años pasados.

**CUADRO 3. 3 DESCRIPCIÓN DE LOS PUNTOS CRÍTICOS PARA EL MUESTREO**

#### a) ÉPOCA DE LLUVIAS

	Descripción del sitio de muestreo en época de lluvias intensas	Fósforo mg L <sup>-1</sup>	Clasificación muestreo de época de lluvias intensas
1	14-Punto en la Presa MPCH	1,42	Acelera la eutrofización
2	13-Río Grande desembocadura Platanales	1,21	Acelera la eutrofización
3	20-Estero buscando Río Cañitas - El Balsa	1,20	Acelera la eutrofización
4	40-Río Platanales	1,09	Acelera la eutrofización
5	38-Río Sánchez entrada Río Grande	1,05	Acelera la eutrofización
6	36-Estero a Sánchez	1,01	Acelera la eutrofización
7	29-Cascada va a Coñaque	0,95	Acelera la eutrofización
8	22-Estero camino a Río Grande - Cañitas	0,75	Acelera la eutrofización
9	31-Cascada Coñaque	0,68	Acelera la eutrofización

	<b>Descripción del sitio de muestreo en época de lluvias intensas</b>	<b>Fósforo mg L<sup>-1</sup></b>	<b>Clasificación muestreo de época de lluvias intensas</b>
10	3-Estero camino a retiro	0,63	Acelera la eutrofización
11	24-Inicio del río Coñaque	0,55	Acelera la eutrofización
12	17-Nacimiento cabecera Juan Cayo	0,47	Acelera la eutrofización
13	30-Estero va al Coñaque	0,43	Acelera la eutrofización
14	8- Dos bocas izquierda (derecha) conjunción	0,42	Acelera la eutrofización
15	33-Afluente Coñaque	0,40	Acelera la eutrofización
16	5-Estero camino a retiro	0,38	Acelera la eutrofización
17	6-Estero 1	0,32	Acelera la eutrofización
18	39-Estero llega a boca de Platanales	0,31	Acelera la eutrofización
19	4-Estero camino a retiro	0,30	Acelera la eutrofización
20	26-Estero dos al Coñaque	0,25	Acelera la eutrofización
21	35-Rio Grande, antes de Coñaque	0,23	Acelera la eutrofización
22	7-Estero 2	0,22	Acelera la eutrofización
23	27-Estero Tres antes Coñaque	0,22	Acelera la eutrofización
24	21-Estero siguiendo la Balsa (Rio Cañitas)	0,16	Acelera la eutrofización
25	34-Rio Coñaque, antes de Rio Grande	0,16	Acelera la eutrofización
26	10-Rio Grande, después del rio Cañitas	0,15	Acelera la eutrofización
27	11-Estero llega a Rio Grande	0,15	Acelera la eutrofización
28	12-Entrada Rio Grande	0,14	Acelera la eutrofización
29	37-Rio Sánchez	0,13	Acelera la eutrofización

	<b>Descripción del sitio de muestreo en época de lluvias intensas</b>	<b>Fósforo mg L<sup>-1</sup></b>	<b>Clasificación muestreo de época de lluvias intensas</b>
30	23-Camino Balsa, Río Cañitas antes Río Grande	0,12	Acelera la eutrofización
31	19-Estero siguiente Balsas (Río Cañitas)	0,11	Acelera la eutrofización
32	2-Estero rumbo al retiro	0,10	Acelera la eutrofización
33	9-Río Grande	0,10	Acelera la eutrofización

FUENTE: (BRIONES, 2015)

#### b) ÉPOCA DE ESTIAJE

<b>Nº</b>	<b>Descripción del sitio de muestreo en época de estiaje</b>	<b>Fósforo mg L<sup>-1</sup></b>	<b>Clasificación muestreo de época de estiaje</b>
<b>1</b>	17-Estero 1 hacia nacimiento Río Grande	1,306	Acelera la eutrofización
<b>2</b>	11-Estero 7 hacia nacimiento Río Grande	1,218	Acelera la eutrofización
<b>3</b>	56-Cascada 2 Río Coñaque	0,629	Acelera la eutrofización
<b>4</b>	18-Estero El Naranjo, Escuela Octavio Zambrano	0,591	Acelera la eutrofización
<b>5</b>	38-Estero 1 hacia nacimiento Estero Juan Cayo	0,553	Acelera la eutrofización
<b>6</b>	45-Estero 5 camino al Río Balsa	0,484	Acelera la eutrofización
<b>7</b>	27-Estero Caracolillo	0,390	Acelera la eutrofización
<b>8</b>	60-Estero Coñaque	0,390	Acelera la eutrofización
<b>9</b>	46-Estero 4 camino al Río Balsa	0,384	Acelera la eutrofización

<b>Nº</b>	<b>Descripción del sitio de muestreo en época de estiaje</b>	<b>Fósforo mg L<sup>-1</sup></b>	<b>Clasificación muestreo de época de estiaje</b>
10	69-Estero hacia Boca de Platanales	0,371	Acelera la eutrofización
11	52-Estero el regreso antes del Río Grande	0,340	Acelera la eutrofización
12	57-Estero Izquierda antes del Coñaque	0,340	Acelera la eutrofización
13	21-Estero antes de Coñaque	0,321	Acelera la eutrofización
14	49-Estero camino al Río Balsa	0,315	Acelera la eutrofización
15	16-Estero 3 hacia nacimiento Río Grande	0,309	Acelera la eutrofización
16	12-Estero 6 nacimiento Río Grande	0,296	Acelera la eutrofización
17	50-Estero el regreso antes del Río Cañitas	0,296	Acelera la eutrofización
18	53-Río Coñaque nacimiento	0,296	Acelera la eutrofización
19	44-Estero 6 camino al Río Balsa, el aposento	0,284	Acelera la eutrofización
20	23-Río Grande después de Estero Coñaque	0,277	Acelera la eutrofización
21	3-Estero 6 nacimiento Río Grande	0,271	Acelera la eutrofización
22	47-Estero 3 camino al Río Balsa	0,258	Acelera la eutrofización
23	14-Río Grande 2	0,252	Acelera la eutrofización
24	29-Presa	0,246	Acelera la eutrofización
25	5Estero 4 nacimiento Río Grande	0,240	Acelera la eutrofización
26	64-Río Boca de Platanales nacimiento	0,233	Acelera la eutrofización
27	62-Río Sánchez después Estero Soleste	0,202	Acelera la eutrofización
28	66-Estero hacia Boca de Platanales	0,202	Acelera la eutrofización



Nº	Descripción del sitio de muestreo en época de estiaje	Fósforo mg L <sup>-1</sup>	Clasificación muestreo de época de estiaje
29	61-Escuela Luis Durán, Vera Sánchez	0,171	Acelera la eutrofización
30	19-Río Grande antes de Coñaque	0,158	Acelera la eutrofización
31	41-Estero 8 camino al Río Balsa	0,139	Acelera la eutrofización
32	63-Río Sánchez antes Estero Soleste	0,139	Acelera la eutrofización
33	10-Estero 1 hacia nacimiento Río Grande	0,120	Acelera la eutrofización
34	13-Estero 5 hacia nacimiento Río Grande	0,120	Acelera la eutrofización
35	28-Río Grande después de Río Caracolillo	0,102	Acelera la eutrofización

FUENTE: (BRIONES, 2015)

Una vez que se identificó los puntos más críticos que aceleran la eutrofización de los estudios anteriores se procedió a emplear el programa ArcGIS para realizar los mapas de ubicación y proceder al muestreo.

### 3.2.2. ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS

Los parámetros analizados fueron: temperatura, potencial redox, hierro trivalente, potencial hidrógeno (pH), conductividad eléctrica (CE), residuo seco evaporado (RSE), residuo seco calcinado (RSC), Sodio (Na<sup>+</sup>), Potasio (K<sup>+</sup>), Magnesio (Mg<sup>2+</sup>), Calcio (Ca<sup>2+</sup>), Cloro (Cl<sup>-</sup>), Carbonatos (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>), Bicarbonatos (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>), Boro (B<sup>-</sup>), Nitratos (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), Sulfatos (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), Fósforo (P – PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) y Demanda Química de Oxígeno.

En el Cuadro 3.4 se indica un resumen de todas las técnicas de análisis empleadas para cada parámetro medido:

**CUADRO 3. 4 RESUMEN DE LAS TÉCNICAS DE ANÁLISIS POR PARÁMETRO MEDIDO**

<b>Parámetro</b>	<b>Método de análisis</b>
Bicarbonatos HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Método APHA 2320 B
Boro B <sup>-</sup>	Método APHA 4500-B C
Calcio Ca <sup>+2</sup>	PEE-LASA-FQ-01-D / Método APHA 3500-Ca B
Carbonatos CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>	Método APHA 2320
Cloruros Cl <sup>-</sup>	PEE-LASA-FQ-01-B / Método APHA 4500-Cl- B
Conductividad Eléctrica CE	Método APHA 2510
Fosfatos P - PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	PEE-LASA-FQ-09b / Método APHA 4500-P C
Magnesio Mg <sup>+2</sup>	Método APHA 3500-Mg B
Nitratos N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PEE-LASA-FQ-23 / Método APHA 4500- NO <sub>3</sub> - E
Potasio K <sup>+</sup>	PEE-LASA-FQ-20a / Método APHA 3111-K B
Potencial Hidrógeno pH	Método APHA 4500-H <sup>+</sup>
Resido seco evaporado RSE	Método APHA 2540-B
<b>Parámetro</b>	<b>Método de Análisis</b>
Residuo seco calcinado RSC	Método APHA 2540-G
DQO	Método APHA
Sodio Na <sup>+</sup>	PEE-LASA-FQ-20a / Método APHA 3111-Na B
Sulfatos SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	PEE-LASA-FQ-09a / Método APHA 4500-SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> - E
Temperatura	APHA edición 22/ Método 2550
Potencial Redox	Método APHA
Hierro	Método APHA 3500-Fe

FUENTE: (APHA, 1995)

La información recolectada para esta investigación se realizó de acuerdo a la experticia del investigador y para conseguir los objetivos de la misma, es decir fue un estudio prospectivo (Méndez, 1986). Esta investigación fue transversal, porque se midió una sola vez las variables y se determinó sus características físicas y

químicas en un momento dado, sin embargo cabe aclarar que su finalidad no fue evaluar la evolución y desarrollo de las variables (Kerlinger, 2002).

### **3.3. FASE DE MUESTREO DE AGUAS**

El muestreo fue diseñado tomando como base a los resultados obtenidos en los estudios anteriores realizados en el Grupo de Investigación en Contaminación Ambiental (GICA) de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE (<http://gica.espe.edu.ec/>) en lo que respecta el ion fosfato el cual es un indicador principal para la identificación del estado trófico de un cuerpo de agua, en este caso el muestreo se realizó a lo largo de la cuenca del río Grande dado a que se identificó valores mayores a 0,1 mg/L este dato cuantitativo importante fue hallado en los estudios sobre Eutrofización de Andrew Sharply en el año 2013 lo mismo que implica que las aguas tienen propensión a eutrofizarse (Andrew N. Sharpley, 2013).

En vista de lo explicado anteriormente para este estudio se tomaron muestras simples que representaron la calidad del agua solamente en el tiempo y en el lugar en que fue tomada, adecuada para la investigación, recogidas de forma manual en recipientes plásticos, se realizaron dos tomas de muestra una en época de estiaje y una en época de lluvias intensas, recolectando 22 muestras de agua.

El muestreo se realizó de acuerdo a la normativa INEN 2 176:1998 para Técnicas e Muestreo de Agua.

### **3.4. CONSERVACIÓN Y MANEJO DE LAS MUESTRAS DE AGUAS**

La recolección de las muestras depende de los procedimientos analíticos empleados y los objetivos del estudio todo se encuentran descrito a continuación como resumen de las técnicas indicadas en el APHA. El muestreo tiene como objeto conseguir una porción representativa del material bajo estudio (cuerpo de agua, efluente industrial, agua residual, etc.) en la cual se analizarán las variables fisicoquímicas de interés. El volumen del material captado se transporta hasta el lugar de almacenamiento (cuarto frío, refrigerador, nevera, etc.), para luego ser

transferido al laboratorio para el respectivo análisis, momento en el cual la muestra debe conservar las características del material original (Rodier J. , 1981).

El control y cuidado del muestreo, conservación y análisis es vital para garantizar la integridad de la muestra desde su recolección hasta la entrega de los resultados; incluye las actividades de seguimiento o monitoreo de las condiciones de toma de muestra, conservación, codificación, movilización y su posterior análisis.

Uno de las demandas básicas en el proceso de muestreo es una manipulación que excluya procesos de deterioro o de contaminación antes de comenzar los análisis en el laboratorio, cuando se muestrea aguas, antes de tomar la muestra es obligatorio purgar el recipiente dos o tres veces, a menos que contenga agentes preservativos. En caso de que las muestras colectadas contengan compuestos orgánicos o metales traza, se deben tomar precauciones especiales, ya que muchos constituyentes están presentes en concentraciones muy pequeñas; de unos pocos microgramos por litro y es posible que se produzca una pérdida total o parcial, si el muestreo no se ejecuta de forma imprecisa en consonancia con una adecuada conservación (Sawyer & McCarty, 1996).

En el Cuadro 3.5 se muestra un breve resumen de las recomendaciones que se debe tomar en cuenta en el muestreo y preservación de las muestras de agua de acuerdo a las mediciones que estén proyectadas en realizar.

**CUADRO 3. 5 RESUMEN DE RECOMENDACIONES PARA TOMAR EN CUENTA EN EL MUESTREO Y PRESERVACIÓN DE LAS MUESTRAS DE AGUA DE ACUERDA A LAS MEDICIONES**

<b>Determinación</b>	<b>Volumen mínimo de muestra, ml.</b>	<b>Preservación</b>	<b>Almacenamiento máximo recomendado</b>
Alcalinidad	200	Refrigerar	14 d
Boro	100	No requiere	6 meses
Cloruro	50	No requiere	28 d
Conductividad	500	Refrigerar	28 d
Dureza	100	Agregar HNO <sub>3</sub> hasta pH<2	6 meses
Fosfato	100	Para fosfato disuelto filtrar inmediatamente; refrigerar	48 h
Metales, general	500	Filtrar <sup>8</sup> , agregar HNO <sub>3</sub> hasta pH<2	6 meses
Nitrato	100	Analizar lo más pronto posible o refrigerar	48 h (28 d para muestras cloradas)
Oxígeno, disuelto:	300		
Electrodo		Análisis inmediato	—
pH	50	Análisis inmediato	—
Sólidos	200	Refrigerar	2-7 d, ver protocolo
Sulfato	100	Refrigerar	28 d
Temperatura	—	Análisis inmediato	—

FUENTE: (APHA, 1995)

### **3.5. ANÁLISIS EN LABORATORIO**

Los análisis de las muestras de agua se realizaron en el laboratorio de Medio Ambiente de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE en el año 2016. Los parámetros, metodología y normativa de referencia considerada se encuentran detallados en el Cuadro 3.6. Los procedimientos, materiales, reactivos y cálculos realizados para cada uno de los ensayos descritos se encuentran detallados en la sección de anexos del documento.

#### **CUADRO 3. 6 RESUMEN DE MÉTODOS PARA ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS DE AGUA**

PARÁMETRO	MÉTODO/EQUIPO	NORMA DE REFERENCIA
Temperatura	Termométrico / Termómetro de mercurio Promolab®	EPA 1983, método 170.1
pH	Multiparamétrico HACH ión pH	(HACH, 2000).
Conductividad eléctrica	Multiparamétrico HACH ión CE	(HACH, 2000).
Sodio y Potasio	Absorción atómica	(APHA, 2005). Método 3111
Calcio	Volumétrico, titulación EDTA 0.01 M / indicador Murexida	(APHA, 1998), método 3500-Ca-B
Magnesio	Dureza, volumétrico titulación EDTA 0.01 M/ negro de Eriocromo	(APHA, 1998). Método 2340C
	Magnesio: método por cálculo	(DINAMA, 1996). Código 12101.
Carbonatos	Alcalinidad, volumétrico titulación con ácido sulfúrico 0.02 N, indicador: Fenolftaleína / Naranja de Metilo	(EPA, 1983). Método 310.1
Bicarbonatos	Volumétrico titulación con ácido sulfúrico 0.02 N, indicador: Fenolftaleína / Naranja de Metilo	(EPA, 1983). Método 310.1
Cloruros	Titulación con nitrato de plata 0.0191 N, indicador: Dicromato de Potasio	(NTE INEN 0976, 1984).
Boro	Método de la Curcumina	(APHA, 1988). Método 4500-B B
Fosfatos	Espectrofotometría / Espectrofotómetro Hach DR5000	(HACH, 2000). Método 8190
Sulfatos	Espectrofotometría / Espectrofotómetro Hach DR5000	(HACH, 2000). Método 8190
Nitratos	Espectrofotometría / Espectrofotómetro Hach DR5000	(HACH, 2000). Método 8051
STD (sólidos totales disueltos)	Gravimetría utilizando estufa Hot-Plate. Modelo Type 2200 Thermoline	(APHA, 1995). Método 2540B
DQO	Espectrofotometría / Espectrofotómetro Hach DR5000	(HACH, 2000).
Hierro	Absorción atómica	(APHA, 2005). Método 3111
Potencial Redox	Espectrofotometría / Espectrofotómetro Hach DR5000	(HACH, 2000).

FUENTE: (APHA, 1995)

### 3.6. EXPERIMENTO DE METAMORFOSIS DE LAS AGUAS

El PPMCH es un embalse que tiende a perder volumen de agua por fenómenos de evaporación el porcentaje depende de la en donde se va a evaporar de un 80 a 90% el agua es así, que en este trabajo se realizó un experimento de evaporación (Velasco, 2014).

Este ensayo se realizó para evaluar el cambio de las características físico químicas de las aguas por efectos de la evaporación. La evaporación es un proceso físico que consiste en el paso lento y gradual de un estado líquido hacia un estado gaseoso, tras haber adquirido suficiente energía para vencer la tensión superficial.

A diferencia de la ebullición, la evaporación se puede producir a cualquier temperatura, siendo más rápido cuanto más elevada sea esta. No es necesario que toda la masa alcance el punto de ebullición. Cuando existe un espacio libre encima de un líquido, una parte de sus moléculas está en forma gaseosa, al equilibrarse, la cantidad de materia gaseosa define la presión de vapor saturante, la cual no depende del volumen, pero varía según la naturaleza del líquido y la temperatura. Si la cantidad de gas es inferior a la presión de vapor saturante, una parte de las moléculas pasan de la fase líquida a la gaseosa: eso es la evaporación. Cuando la presión de vapor iguala a la atmosférica, se produce la ebullición. En hidrología, la evaporación es una de las variables hidrológicas importantes al momento de establecer el balance hídrico de una determinada cuenca hidrográfica o parte de esta. En este caso, se debe distinguir entre la evaporación desde superficies libres y la evaporación desde el suelo. La evaporación de agua es importante e indispensable en la vida, ya que el vapor de agua, al condensarse se transforma en nubes y vuelve en forma de lluvia, nieve, niebla o rocío (Velasco, 2014).

Se eligió dos muestras para realizar el experimento en base de la ubicación con respecto a la presa, es decir se tomó la muestra más cercana a la presa ya que se requirió replicar el fenómeno de evaporación empleando la muestra con características similares al agua dentro de la presa. Las características de las aguas van cambiando a medida que ocurre el fenómeno de evaporación en el presente experimento se sometió a la muestra a evaporación a tres temperaturas (temperatura ambiente, 55°C y 100°C) para evaluar los cambios en los componentes físico químicos.

### **3.7. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE DATOS**

#### **3.7.1. ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES**

El análisis de componentes fue realizado utilizando el programa Minitab 17 el cual es un software estadístico libre que permite determinar la correlación que existe entre dos o más variables en el estudio. Proporciona valores propios de cada componente principal, también la proporción de varianza explicada y la varianza



explicada acumulada, la misma que establece el menor número de variables que abarcan la mayoría del fenómeno en estudio. El programa da un puntaje a cada variable y determina la o las variables que tienen más significancia por sobre las otras (Carmona, 2014).

Como variables del programa se ingresaron los 8 iones (aniones y cationes) que fueron objeto del presente estudio en todos los puntos muestreados, tanto para época de estiaje como para época de lluvias.

En cuanto al programa Minitab 17 en 1972, instructores del programa de análisis estadísticos de la Universidad Estatal de Pensilvania desarrollaron MINITAB como una versión ligera de OMNITAB, un programa de análisis estadístico del Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST) de los Estados Unidos.

### **3.7.2. ANÁLISIS GEOESTADÍSTICO**

El análisis geoestadístico fue realizado para el anión fosfato debido a su crucial importancia en la evaluación de la eutrofización, además, se realizó el análisis de las variables resultantes del análisis de componentes principales es decir de los iones más representativos.

El análisis geoestadístico constó de tres etapas el análisis exploratorio de datos, el análisis estructural y la predicción, el programa ArcGIS 9.2 el cual cuenta con una extensión para realizar dicho análisis se utilizó el software del laboratorio de geográfica de la ESPE.

El análisis exploratorio de datos se lo realizó mediante la herramienta explore data del programa ArcGIS en donde se realizaron histogramas gráficos de cuantiles (Q-Q plot) y el análisis de tendencia tridimensional con el fin de analizar la distribución, simetría tendencia y demás características de los datos, dentro del análisis exploratorio fue necesario la determinación de datos atípicos en las variables estudiadas el mismo que se lo realizó mediante un diagrama de caja utilizando el software libre Minitab 17.

El análisis exploratorio y la predicción se lo realizó en el programa ArcGIS mediante el método Kriging ordinario el cual a partir de semivariogramas teóricos se hizo una

predicción de los puntos no muestreados a partir de los datos muestreados, el cálculo de la precisión y el error del método lo ejecutó mediante validación cruzada (ArcGIS, 2010).

Debido a la cantidad de datos de muestreo con los que se contaba, se recreó una comparación de los modelos geoestadístico con modelos determinísticos que requieren una menor cantidad de datos disponibles para su predicción.

El método determinístico utilizado fue el IDW el mismo que se lo hizo utilizando el software ArcGIS 9.2.

En los casos en que sólo se aplican métodos estadísticos tradicionales (univariantes y multivariantes) en el análisis de variables regionalizadas (geo-referenciadas en el tiempo o el espacio) suelen tener algunos problemas, la mayor parte de los cuales a veces no pueden explicar. La principal restricción de los métodos estadísticos tradicionales es la abstracción que hacen de la ubicación de las muestras en el tiempo o el espacio.

En el presente trabajo de investigación el objetivo principal es utilizar los conceptos y parámetros de la caracterización variográfica geoestadística para minimizar las limitaciones intrínsecas de los métodos tradicionales. Esto no es difícil de realizar ya que en la actualidad, prácticamente todos los paquetes medianos y grandes de software aplicados a geología, minería y metalurgia tienen en sus módulos de estimación de reservas alguna forma de hacer análisis variográfico geoestadístico (Moya, 2015).

### **3.7.3.METODOLOGÍA DE ELABORACIÓN DE MAPAS DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL**

Los mapas de distribución se realizaron empleando el programa informático ArcGIS, este es un complemento que permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica (ArcGIS, 2010).

ArcGIS permite: Crear, compartir y utilizar mapas inteligentes, Compilar información geográfica, Crear y administrar bases de datos geográficas, Resolver problemas con el análisis espacial, Crear aplicaciones basadas en mapas, Dar a conocer y compartir información mediante la geografía y la visualización (ArcGIS, 2010).

El mapa de ArcGIS se inicia con un mapa base. ArcGIS cuenta con un amplio conjunto de mapas base integrados de diversos tipos, entre los que se incluyen de topografía, imágenes, calles, terreno y océanos. También hay disponibles mapas base mucho más especializados, como de hidrología, uso del suelo y geología. Además, se puede crear mapas base propios como es el caso del presente estudio. De modo que una vez que se eligió el mapa base, se le añadió las capas de datos operacionales, también se colocó la simbología, el etiquetado y los rangos de escala. Una vez que se creó el mapa con todos los detalles deseados éste puede usarse como una plantilla gráfica para futuras representaciones.

#### **3.7.4. METODOLOGÍA DE LA PROPUESTA DEL PLAN DE MANEJO DE LA EUTROFIZACIÓN EN EL RÍO GRANDE**

En el presente estudio se demostró que las aguas del sistema hidrográfico del río Grande contienen concentraciones de nutrientes que aceleran la eutrofización por lo tanto se propuso un plan de manejo en base a los estudios de varios autores. Debido a que el problema se trata de un exceso de nutrientes la solución implica una reducción de los mismos, las características de los nutrientes son la clave para determinar diferentes maneras de eliminarlos, en cuanto al Fósforo éste se encuentra en forma de fosfatos

Los compuestos del Fósforo son nutrientes de las plantas y conducen al crecimiento de algas en las aguas superficiales. Dependiendo de la concentración de fosfato existente en el agua, puede producirse la eutrofización. Tan sólo 1 g de fosfato-Fósforo (PO<sub>4</sub>-P) provoca el crecimiento de hasta 100 g de algas. Cuando estas algas mueren, los procesos de descomposición dan como resultado una demanda de oxígeno de alrededor de 150 g. Las concentraciones críticas para una eutrofización incipiente se encuentran entre 0,1-0,2 mg/l PO<sub>4</sub>-P en el agua corriente y entre 0,005-0,01 mg/l de PO<sub>4</sub>-P en aguas tranquilas.

En la actualidad se conocían principalmente dos modos de llevar esto a cabo: la eliminación biológica de Fósforo o la precipitación química de fosfato. Las desventajas asociadas a los métodos de precipitación son el aumento de la salinidad del agua residual (y por tanto también del agua receptora) y el constante

aumento del precio de los precipitantes. Además, las sales de fosfato precipitadas llevan al aumento del volumen de fango. Por este motivo, en la práctica se utiliza una combinación de eliminación biológica y química de Fósforo para minimizar el consumo de precipitante. los cuales pueden ser captados empleando barreras activas de esta manera el agua eutrofizada poco a poco perdería el exceso de este nutriente por lo tanto los niveles de todos los demás se irían equilibrando, en el mundo científico se han realizado diversas pruebas piloto. Sin embargo se ha desarrollado una nueva tecnología empleando Tecnosoles, son suelos nuevos elaborados a partir de residuos orgánicos e inorgánicos, procedentes de cualquier actividad, que son “formulados” para resolver problemas concretos: sellado de escombreras, impermeabilización de escombreras, neutralización de aguas ácidas, esterilización, remediación de aguas contaminadas, mejora productiva, menor demanda de riego u otros. A lo largo de 15 años de investigación se han “formulado” más de 200 tecnosoles que ofrecen enormes ventajas frente a la restauración convencional de espacios degradados: menor coste, tiempo de respuesta y mayor secuestro de Carbono y durabilidad (Hernandez L. , 2015). En este trabajo de investigación se deja como propuesta de manejo de la Eutrofización el empleo de estos suelos a la carta formulados específicamente para la eliminación de el Fósforo y el Nitrógeno en exceso de las aguas del río Grande.

## **4. CAPÍTULO CUATRO: RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4.1. COMPOSICIÓN IÓNICA DE LAS AGUAS**

Los iones Calcio, Magnesio, Sodio, Potasio, Carbonatos, Bicarbonatos, Cloruros y Sulfatos, son los más típicos en las aguas de todo tipo a nivel planetario (Wetzel, 1981), durante los análisis de laboratorio se obtuvo cada valor concentración de los iones que a continuación se detallan mediante cuadros divididos para cada época es decir para la época de estiaje como para la época de lluvias intensas todo esto para cada año de estudio (2014, 2015, 2016).

CUADRO 4. 1 COMPOSICIÓN IÓNICA DE LAS AGUAS EN LA ÉPOCA DE LLUVIAS

a) Año 2014

No	pH	RSE mg/l	CE $\mu\text{S cm}^{-1}$	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Suma	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Suma	%error
				meq/L					meq/L					
1	8,09	148	176,85	0,9	0,45	0,44	0,09	1,88	0	1,34	0,07	0,44	1,85	0,8
2	7,57	248	199,25	0,9	0,5	0,46	0,13	1,99	0	1,41	0,07	0,48	1,96	0,76
3	7,99	272	184,25	0,9	0,41	0,43	0,1	1,84	0	1,3	0,08	0,46	1,84	0
4	8,35	296	175,85	0,97	0,39	0,39	0,08	1,83	0	1,23	0,07	0,5	1,8	0,83
5	8,12	208	231	1,1	0,63	0,46	0,1	2,29	0	1,35	0,07	0,83	2,25	0,88
6	7,98	224	224	1,15	0,45	0,46	0,09	2,15	0	1,33	0,07	0,71	2,11	0,94
7	7,41	204	228,5	1,14	0,66	0,44	0,1	2,34	0	1,5	0,13	0,67	2,3	0,86
8	8,34	716	209,75	1	0,53	0,47	0,1	2,1	0	1,5	0,09	0,51	2,1	0
9	8,29	272	107,65	0,55	0,32	0,12	0,06	1,05	0	0,83	0,04	0,17	1,04	0,48
10	7,06	184	238	1,26	0,77	0,56	0,1	2,69	0	1,6	0,12	0,93	2,65	0,75
11	7,68	232	356,5	1,9	0,88	0,64	0,12	3,54	0	2,02	0,3	1,12	3,44	1,43
12	7,42	16	265	1	0,81	0,62	0,09	2,52	0	1,45	0,11	1	2,56	0,79
13	7,48	176	171,35	0,9	0,39	0,43	0,1	1,82	0	1,38	0,09	0,32	1,79	0,83
14	7,68	192	221	1,07	0,55	0,54	0,11	2,27	0	1,5	0,11	0,62	2,23	0,89
15	8,19	304	199,1	0,91	0,61	0,51	0,09	2,12	0	1,45	0,07	0,56	2,08	0,95
16	8,38	688	241	1,2	0,72	0,52	0,11	2,55	0	1,67	0,1	0,73	2,5	0,99
17	6,11	156	43,5	0,08	0,07	0,24	0,02	0,41	0	0,01	0,02	0,39	0,42	1,57
18	7,8	288	349	1,82	0,9	0,63	0,11	3,46	0	2,34	0,14	0,96	3,44	0,29

No	pH	RSE mg/l	CE $\mu\text{S cm}^{-1}$	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Suma	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Suma	%error
				meq/L					meq/L					
19	8,1	168	209,4	0,72	0,83	0,48	0,09	2,12	0	1,36	0,1	0,72	2,18	1,4
20	7,98	236	358	2,1	0,1	0,84	0,15	3,19	0	1,78	0,09	1,26	3,13	0,95
21	8,02	276	331	1,4	0,6	0,68	0,12	2,8	0	1,82	0,11	0,83	2,76	0,72
22	7,92	236	182,6	0,8	0,6	0,57	0,09	2,06	0	1,55	0,08	0,39	2,02	0,98
23	8,06	288	271	1,45	0,63	0,58	0,11	2,77	0	1,54	0,13	1,05	2,72	0,91
24	7,84	284	173,4	0,8	0,4	0,36	0,08	1,64	0	1,13	0,09	0,4	1,62	0,61
25	7,55	60	186,8	0,9	0,55	0,41	0,07	1,93	0	1,13	0,09	0,68	1,9	0,78
26	7,60	296	192,10	1,00	0,35	0,45	0,09	1,89	0	1,20	0,09	0,57	1,86	0,80
27	7,79	204	239,00	1,18	0,52	0,48	0,09	2,27	0	1,25	0,10	0,88	2,23	0,89
28	7,79	204	201,60	0,99	0,50	0,42	0,08	1,99	0	1,21	0,09	0,67	1,97	0,51
29	7,48	416	218,10	0,94	0,85	0,29	0,12	2,20	0	1,61	0,09	0,46	2,16	0,92
30	7,79	204	250,00	1,33	0,54	0,69	0,07	2,63	0	1,97	0,10	0,56	2,63	0,00
31	7,74	12	185,00	0,80	0,44	0,48	0,06	1,78	0	1,44	0,10	0,21	1,75	0,85
32	7,76	184	301,00	1,09	0,92	0,94	0,09	3,04	0	2,09	0,10	0,80	2,99	0,83
33	7,48	36	110,90	0,45	0,30	0,41	0,07	1,23	0	0,97	0,09	0,15	1,21	0,82
34	7,98	224	306,50	1,42	0,85	0,64	0,11	3,02	0	1,75	0,11	1,12	2,98	0,67
35	7,83	156	246,50	1,14	0,70	0,57	0,11	2,52	0	1,46	0,12	0,90	2,47	0,94
36	7,31	68	290,00	1,01	1,03	0,74	0,11	2,89	0	1,88	0,17	0,82	2,87	0,35
37	7,64	56	274,00	1,20	0,72	0,62	0,10	2,64	0	1,70	0,12	0,77	2,59	0,96
38	7,36	212	268,00	1,41	0,63	0,61	0,14	2,79	0	1,75	0,12	0,87	2,74	0,90
39	7,65	36	442,00	2,12	1,29	0,85	0,15	4,41	0	1,94	0,81	1,67	4,42	0,11
40	7,67	256	261,50	1,35	0,61	0,53	0,12	2,61	0	1,30	0,24	1,02	2,56	0,97
38	7,36	212	268,00	1,41	0,63	0,61	0,14	2,79	0	1,75	0,12	0,87	2,74	0,90

No	pH	RSE mg/l	CE $\mu\text{S cm}^{-1}$	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Suma	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Suma	%error
				meq/L					meq/L					
39	7,65	36	442,00	2,12	1,29	0,85	0,15	4,41	0	1,94	0,81	1,67	4,42	0,11
40	7,67	256	261,50	1,35	0,61	0,53	0,12	2,61	0	1,30	0,24	1,02	2,56	0,97

b) Año 2015

No	pH	RSE mg/l	CE $\mu\text{S cm}^{-1}$	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Suma	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Suma	%error
				meq/L					meq/L					
1	8,09	148	176,85	0,9	0,45	0,44	0,09	1,88	0	1,34	0,07	0,44	1,85	0,8
2	7,57	248	199,25	0,9	0,5	0,46	0,13	1,99	0	1,41	0,07	0,48	1,96	0,76
3	7,99	272	184,25	0,9	0,41	0,43	0,1	1,84	0	1,3	0,08	0,46	1,84	0
4	8,35	296	175,85	0,97	0,39	0,39	0,08	1,83	0	1,23	0,07	0,5	1,8	0,83
5	8,12	208	231	1,1	0,63	0,46	0,1	2,29	0	1,35	0,07	0,83	2,25	0,88
6	7,98	224	224	1,15	0,45	0,46	0,09	2,15	0	1,33	0,07	0,71	2,11	0,94
7	7,41	204	228,5	1,14	0,66	0,44	0,1	2,34	0	1,5	0,13	0,67	2,3	0,86
8	8,34	716	209,75	1	0,53	0,47	0,1	2,1	0	1,5	0,09	0,51	2,1	0
9	8,29	272	107,65	0,55	0,32	0,12	0,06	1,05	0	0,83	0,04	0,17	1,04	0,48
10	7,06	184	238	1,26	0,77	0,56	0,1	2,69	0	1,6	0,12	0,93	2,65	0,75
11	7,68	232	356,5	1,9	0,88	0,64	0,12	3,54	0	2,02	0,3	1,12	3,44	1,43
12	7,42	16	265	1	0,81	0,62	0,09	2,52	0	1,45	0,11	1	2,56	0,79
13	7,48	176	171,35	0,9	0,39	0,43	0,1	1,82	0	1,38	0,09	0,32	1,79	0,83
14	7,68	192	221	1,07	0,55	0,54	0,11	2,27	0	1,5	0,11	0,62	2,23	0,89
15	8,19	304	199,1	0,91	0,61	0,51	0,09	2,12	0	1,45	0,07	0,56	2,08	0,95
16	8,38	688	241	1,2	0,72	0,52	0,11	2,55	0	1,67	0,1	0,73	2,5	0,99



No	pH	RSE mg/l	CE $\mu\text{S cm}^{-1}$	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Suma	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Suma	%error
				meq/L					meq/L					
17	6,11	156	43,5	0,08	0,07	0,24	0,02	0,41	0	0,01	0,02	0,39	0,42	1,57
18	7,8	288	349	1,82	0,9	0,63	0,11	3,46	0	2,34	0,14	0,96	3,44	0,29
19	8,1	168	209,4	0,72	0,83	0,48	0,09	2,12	0	1,36	0,1	0,72	2,18	1,4
20	7,98	236	358	2,1	0,1	0,84	0,15	3,19	0	1,78	0,09	1,26	3,13	0,95
21	8,02	276	331	1,4	0,6	0,68	0,12	2,8	0	1,82	0,11	0,83	2,76	0,72
22	7,92	236	182,6	0,8	0,6	0,57	0,09	2,06	0	1,55	0,08	0,39	2,02	0,98
23	8,06	288	271	1,45	0,63	0,58	0,11	2,77	0	1,54	0,13	1,05	2,72	0,91
24	7,84	284	173,4	0,8	0,4	0,36	0,08	1,64	0	1,13	0,09	0,4	1,62	0,61
25	7,55	60	186,8	0,9	0,55	0,41	0,07	1,93	0	1,13	0,09	0,68	1,9	0,78
26	7,60	296	192,10	1,00	0,35	0,45	0,09	1,89	0	1,20	0,09	0,57	1,86	0,80
27	7,79	204	239,00	1,18	0,52	0,48	0,09	2,27	0	1,25	0,10	0,88	2,23	0,89
28	7,79	204	201,60	0,99	0,50	0,42	0,08	1,99	0	1,21	0,09	0,67	1,97	0,51
29	7,48	416	218,10	0,94	0,85	0,29	0,12	2,20	0	1,61	0,09	0,46	2,16	0,92
30	7,79	204	250,00	1,33	0,54	0,69	0,07	2,63	0	1,97	0,10	0,56	2,63	0,00
31	7,74	12	185,00	0,80	0,44	0,48	0,06	1,78	0	1,44	0,10	0,21	1,75	0,85
32	7,76	184	301,00	1,09	0,92	0,94	0,09	3,04	0	2,09	0,10	0,80	2,99	0,83
33	7,48	36	110,90	0,45	0,30	0,41	0,07	1,23	0	0,97	0,09	0,15	1,21	0,82
34	7,98	224	306,50	1,42	0,85	0,64	0,11	3,02	0	1,75	0,11	1,12	2,98	0,67
35	7,83	156	246,50	1,14	0,70	0,57	0,11	2,52	0	1,46	0,12	0,90	2,47	0,94
36	7,31	68	290,00	1,01	1,03	0,74	0,11	2,89	0	1,88	0,17	0,82	2,87	0,35
37	7,64	56	274,00	1,20	0,72	0,62	0,10	2,64	0	1,70	0,12	0,77	2,59	0,96
38	7,36	212	268,00	1,41	0,63	0,61	0,14	2,79	0	1,75	0,12	0,87	2,74	0,90
39	7,65	36	442,00	2,12	1,29	0,85	0,15	4,41	0	1,94	0,81	1,67	4,42	0,11

No	pH	RSE mg/l	CE $\mu\text{S cm}^{-1}$	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Suma	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Suma	%error
				meq/L					meq/L					
40	7,67	256	261,50	1,35	0,61	0,53	0,12	2,61	0	1,30	0,24	1,02	2,56	0,97
38	7,36	212	268,00	1,41	0,63	0,61	0,14	2,79	0	1,75	0,12	0,87	2,74	0,90
39	7,65	36	442,00	2,12	1,29	0,85	0,15	4,41	0	1,94	0,81	1,67	4,42	0,11
40	7,67	256	261,50	1,35	0,61	0,53	0,12	2,61	0	1,30	0,24	1,02	2,56	0,97

## c) Año 2016

No.	pH	CE $\mu\text{S cm}^{-1}$	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Suma meq L <sup>-1</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Suma	RSE mg L <sup>-1</sup>	% Error
1	7,8	229	0,414	0,64	0,937	0,562	2,55	0,0	1,705	0,086	0,687	2,48	165,8	0,816
2	7,8	203,2	0,366	0,30	0,914	0,763	2,35	0,0	1,836	0,081	0,458	2,37	166,5	0,622
3	7,9	223	0,456	0,82	1,100	0,077	2,46	0,0	1,967	0,091	0,479	2,54	178,9	1,687
4	7,8	201,5	0,346	0,79	0,880	0,081	2,10	0,0	1,770	0,083	0,375	2,23	165,4	0,271
5	7,2	208	0,323	0,72	0,840	0,115	1,99	0,0	1,836	0,085	0,437	2,36	162,9	1,601
6	7,3	247	0,484	0,81	0,467	0,086	1,84	0,0	1,967	0,104	0,604	2,67	178,9	0,932
7	7,7	188,8	0,340	0,70	1,424	0,060	2,53	0,0	1,639	0,102	0,333	2,07	130,7	0,054
8	7,2	185,7	0,485	0,63	0,748	0,107	1,97	0,0	1,705	0,079	0,354	2,14	150,9	0,353
9	7,2	233	0,519	0,73	1,070	0,126	2,44	0,0	2,098	0,102	0,521	2,72	190,6	0,764
10	8,5	238	0,410	0,56	0,498	0,124	1,59	0,0	1,901	0,098	0,583	2,58	186,8	0,854
11	7,9	303	0,377	0,74	0,215	0,102	1,44	0,0	2,688	0,111	0,542	3,34	245,1	0,154
12	7,1	242	0,437	1,39	0,202	0,139	2,16	0,0	1,770	0,095	0,625	2,49	167,7	1,319
13	6,9	234	0,454	0,23	0,477	0,106	1,27	0,0	1,836	0,091	0,667	2,59	179,9	0,500

CUADRO 4. 2 COMPOSICIÓN DE LAS AGUAS EN LA ÉPOCA DE ESTIAJE

a) Año 2014

No	pH	CE	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Suma	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Suma	% error
		μS cm <sup>-1</sup>	meq/L					meq/L					
1	7,32	258	1,21	0,61	0,62	0,11	2,55	0	1,9	0,08	0,58	2,55	0,11
2	7,57	183,7	0,9	0,48	0,4	0,08	1,86	0	1,4	0,08	0,34	1,82	0,95
3	6,52	212,25	1,1	0,51	0,41	0,12	2,13	0	1,47	0,11	0,53	2,1	0,72
4	7,79	187,55	1	0,34	0,45	0,08	1,87	0	1,36	0,09	0,42	1,87	0,19
5	7,66	243,5	1,4	0,41	0,53	0,08	2,42	0	1,87	0,04	0,48	2,39	0,69
6	6,91	277,5	1,15	0,55	0,51	0,08	2,3	0	1,68	0,07	0,51	2,25	0,96
7	6,76	212,25	1,1	0,48	0,4	0,08	2,06	0	1,55	0,11	0,36	2,03	0,72
8	7,94	210,85	1,01	0,78	0,5	0,09	2,38	0	1,8	0,08	0,46	2,34	0,83
9	8,01	227	1,1	0,49	0,57	0,09	2,25	0	1,69	0,09	0,43	2,21	0,88
10	6,74	293	1,47	0,57	0,56	0,08	2,69	0	1,65	0,12	0,87	2,64	0,97
11	7,11	294	1,24	0,93	0,73	0,1	3	0	1,87	0,09	0,98	2,94	0,91
12	7,04	256,5	1,22	0,48	0,7	0,1	2,5	0	1,8	0,09	0,56	2,45	0,97
13	7,42	367	1,77	1,1	0,81	0,08	3,75	0	2,8	0,08	0,8	3,68	0,94
14	7,11	244	1,1	0,53	0,54	0,09	2,27	0	1,74	0,08	0,41	2,23	0,83
15	7,02	365	1,81	1,2	0,82	0,1	3,93	0	2,45	0,14	1,28	3,86	0,89
16	6,82	404	2,1	0,95	0,99	0,11	4,15	0	2,4	0,17	1,5	4,07	0,92
17	7,22	572	2,15	1,8	1,7	0,23	5,88	0	2,2	1,9	1,7	5,8	0,67
18	8,08	346	1,37	1,06	0,78	0,11	3,31	0	2,13	0,17	0,96	3,26	0,88

No	pH	CE	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Suma	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Suma	% error
		µS cm <sup>-1</sup>	meq/L					meq/L					
19	7,83	277	1,4	0,57	0,62	0,1	2,69	0	1,8	0,12	0,73	2,64	0,83
20	7,92	285,5	1,64	0,39	0,64	0,1	2,76	0	1,8	0,13	0,79	2,72	0,81
21	7,63	427,5	2,27	1,4	0,94	0,15	4,76	0	2,34	0,23	2,09	4,67	0,93
22	8,01	288,5	1,49	0,46	0,62	0,09	2,67	0	1,58	0,24	0,85	2,67	0,03
23	8,18	288	1,55	0,55	0,62	0,1	2,81	0	1,87	0,17	0,73	2,76	0,9
24	7,69	984	5,2	3,13	1,49	0,15	9,97	0	2,8	0,15	7,02	9,97	0,02
25	7,7	528	2,1	1,6	1,16	0,12	4,97	0	3,15	0,16	1,58	4,88	0,9
26	7,92	293	1,34	0,64	0,63	0,1	2,71	0	1,72	0,12	0,89	2,72	0,17
27	7,64	312,5	1,27	0,96	0,87	0,1	3,2	0	1,81	0,16	1,18	3,15	0,89
28	7,65	293,5	1,43	0,66	0,69	0,1	2,87	0	1,99	0,16	0,75	2,89	0,38
29	7,94	353,5	1,47	1,01	0,83	0,14	3,45	0	1,98	0,23	1,18	3,39	0,95
30	7,59	224	1,1	0,37	0,8	0,09	2,36	0	1,77	0,12	0,5	2,38	0,42
31	7,09	219,1	1	0,44	0,55	0,09	2,08	0	1,6	0,12	0,36	2,08	0,02
32	6,89	241	1,44	0,54	0,05	0,1	2,12	0	1,5	0,1	0,52	2,12	0,05
33	7,79	274	1,58	0,5	0,6	0,1	2,78	0	1,78	0,12	0,83	2,73	0,94
34	7,3	287,5	1,65	0,55	0,6	0,1	2,89	0	1,86	0,14	0,84	2,84	0,87
35	8,14	269,5	1,6	0,4	0,63	0,1	2,73	0	1,91	0,1	0,67	2,68	0,92
36	6,99	168,1	0,7	0,56	0,51	0,08	1,85	0	1,34	0,07	0,4	1,81	0,93
37	7,29	338	1,7	0,99	0,68	0,11	3,48	0	2,25	0,09	1,13	3,48	0,08
38	7,07	295	1,43	0,74	0,64	0,16	2,97	0	2,3	0,17	0,53	2,99	0,32
39	7,44	266,5	1,3	0,73	0,57	0,09	2,7	0	1,9	0,12	0,65	2,67	0,57
40	7,52	267,5	1,34	0,51	0,57	0,09	2,51	0	1,9	0,09	0,54	2,54	0,56
41	7,5	227	1,11	0,64	0,56	0,09	2,39	0	1,5	0,17	0,68	2,35	0,94

No	pH	CE	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Suma	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Suma	% error
		μS cm <sup>-1</sup>	meq/L					meq/L					
42	7,56	389,5	1,9	0,85	0,68	0,15	3,58	0	2	0,2	1,33	3,53	0,66
43	7,85	297	1,31	0,74	0,58	0,1	2,73	0	1,62	0,17	0,9	2,69	0,84
44	7,75	238,5	1,07	0,73	0,55	0,09	2,44	0	1,69	0,14	0,57	2,4	0,85
45	6,59	303	1,62	0,49	0,6	0,12	2,82	0	1,96	0,14	0,68	2,77	0,84
46	7,4	482,5	2,99	0,88	1,02	0,14	5,03	0	2,56	0,14	2,24	4,94	0,97
47	7,66	330	1,76	0,64	0,68	0,11	3,2	0	1,86	0,12	1,16	3,14	0,95
48	8	345	2	0,27	0,98	0,16	3,41	0	2,3	0,11	0,95	3,36	0,77
49	7,49	350	1,6	0,97	0,83	0,13	3,53	0	2,25	0,16	1,15	3,56	0,41
50	7,5	325,5	1,74	0,68	0,67	0,1	3,19	0	2	0,13	1	3,14	0,8
51	6,77	327,5	1,4	0,57	0,66	0,35	2,98	0	1,96	0,2	0,77	2,93	0,85
52	8,31	291	1,47	0,57	0,62	0,1	2,76	0	1,9	0,14	0,68	2,71	0,88
53	8,21	278,5	1,27	0,75	0,59	0,09	2,7	0	1,82	0,12	0,81	2,75	0,88
54	8,09	261,5	1,43	0,53	0,6	0,08	2,64	0	1,77	0,12	0,73	2,62	0,49
55	7,97	345	1,9	0,56	0,72	0,1	3,29	0	2,05	0,14	1,06	3,24	0,69
56	7,81	405	1,9	1,14	0,83	0,11	3,98	0	1,9	0,18	1,97	4,05	0,8
57	7,81	367	2	0,8	0,91	0,1	3,81	0	2,1	0,11	1,53	3,73	0,98
58	7,74	301,5	1,22	0,79	0,9	0,09	3	0	2,2	0,14	0,69	3,03	0,45
59	7,94	307,5	1,2	0,99	0,69	0,09	2,98	0	1,78	0,12	1,04	2,93	0,74
60	7,75	308,5	1,52	0,63	0,67	0,09	2,91	0	1,86	0,11	0,99	2,96	0,87
61	7,3	653,5	3	2,15	1,33	0,15	6,64	0	2,34	0,2	3,98	6,51	0,92
62	7,63	406	1,75	1	0,9	0,12	3,77	0	2,15	0,2	1,38	3,73	0,64
63	7,55	369	1,9	0,77	0,88	0,12	3,67	0	1,4	0,2	2,1	3,7	0,43
64	8,06	351	1,75	1,02	0,96	0,13	3,87	0	2,65	0,15	1	3,8	0,92

No	pH	CE	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Suma	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Suma	% error
		μS cm <sup>-1</sup>	meq/L					meq/L					
65	8,22	320	1,45	0,93	0,83	0,12	3,33	0	1,94	0,17	1,17	3,28	0,79
66	7,58	269,5	1,15	0,92	0,75	0,11	2,92	0	1,95	0,16	0,76	2,87	0,85
67	7,82	322	1,5	0,93	0,94	0,13	3,49	0	2,25	0,13	1,15	3,53	0,54
68	8,03	329,5	1,4	0,9	0,85	0,12	3,27	0	1,8	0,18	1,3	3,28	0,12
69	7,5	422,5	1,16	1,2	1,16	0,13	3,65	0	1,81	0,16	1,72	3,69	0,51
70	8,22	339,5	1,1	1,06	1,05	0,12	3,33	0	1,9	0,24	1,2	3,34	0,17
71	7,74	430	2,2	0,95	1,07	0,12	4,35	0	0,8	0,45	3,12	4,37	0,32

b) Año 2015

No	pH	CE	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Suma	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Suma	% error
		μS cm <sup>-1</sup>	meq/L					meq/L					
1	7,32	258	1,21	0,61	0,62	0,11	2,55	0	1,9	0,08	0,58	2,55	0,11
2	7,57	183,7	0,9	0,48	0,4	0,08	1,86	0	1,4	0,08	0,34	1,82	0,95
3	6,52	212,25	1,1	0,51	0,41	0,12	2,13	0	1,47	0,11	0,53	2,1	0,72
4	7,79	187,55	1	0,34	0,45	0,08	1,87	0	1,36	0,09	0,42	1,87	0,19
5	7,66	243,5	1,4	0,41	0,53	0,08	2,42	0	1,87	0,04	0,48	2,39	0,69
6	6,91	277,5	1,15	0,55	0,51	0,08	2,3	0	1,68	0,07	0,51	2,25	0,96
7	6,76	212,25	1,1	0,48	0,4	0,08	2,06	0	1,55	0,11	0,36	2,03	0,72
8	7,94	210,85	1,01	0,78	0,5	0,09	2,38	0	1,8	0,08	0,46	2,34	0,83
9	8,01	227	1,1	0,49	0,57	0,09	2,25	0	1,69	0,09	0,43	2,21	0,88
10	6,74	293	1,47	0,57	0,56	0,08	2,69	0	1,65	0,12	0,87	2,64	0,97

No	pH	CE	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Suma	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Suma	% error
		μS cm <sup>-1</sup>	meq/L					meq/L					
11	7,11	294	1,24	0,93	0,73	0,1	3	0	1,87	0,09	0,98	2,94	0,91
12	7,04	256,5	1,22	0,48	0,7	0,1	2,5	0	1,8	0,09	0,56	2,45	0,97
13	7,42	367	1,77	1,1	0,81	0,08	3,75	0	2,8	0,08	0,8	3,68	0,94
14	7,11	244	1,1	0,53	0,54	0,09	2,27	0	1,74	0,08	0,41	2,23	0,83
15	7,02	365	1,81	1,2	0,82	0,1	3,93	0	2,45	0,14	1,28	3,86	0,89
16	6,82	404	2,1	0,95	0,99	0,11	4,15	0	2,4	0,17	1,5	4,07	0,92
17	7,22	572	2,15	1,8	1,7	0,23	5,88	0	2,2	1,9	1,7	5,8	0,67
18	8,08	346	1,37	1,06	0,78	0,11	3,31	0	2,13	0,17	0,96	3,26	0,88
19	7,83	277	1,4	0,57	0,62	0,1	2,69	0	1,8	0,12	0,73	2,64	0,83
20	7,92	285,5	1,64	0,39	0,64	0,1	2,76	0	1,8	0,13	0,79	2,72	0,81
21	7,63	427,5	2,27	1,4	0,94	0,15	4,76	0	2,34	0,23	2,09	4,67	0,93
22	8,01	288,5	1,49	0,46	0,62	0,09	2,67	0	1,58	0,24	0,85	2,67	0,03
23	8,18	288	1,55	0,55	0,62	0,1	2,81	0	1,87	0,17	0,73	2,76	0,9
24	7,69	984	5,2	3,13	1,49	0,15	9,97	0	2,8	0,15	7,02	9,97	0,02
25	7,7	528	2,1	1,6	1,16	0,12	4,97	0	3,15	0,16	1,58	4,88	0,9
26	7,92	293	1,34	0,64	0,63	0,1	2,71	0	1,72	0,12	0,89	2,72	0,17
27	7,64	312,5	1,27	0,96	0,87	0,1	3,2	0	1,81	0,16	1,18	3,15	0,89
28	7,65	293,5	1,43	0,66	0,69	0,1	2,87	0	1,99	0,16	0,75	2,89	0,38
29	7,94	353,5	1,47	1,01	0,83	0,14	3,45	0	1,98	0,23	1,18	3,39	0,95
30	7,59	224	1,1	0,37	0,8	0,09	2,36	0	1,77	0,12	0,5	2,38	0,42
31	7,09	219,1	1	0,44	0,55	0,09	2,08	0	1,6	0,12	0,36	2,08	0,02
32	6,89	241	1,44	0,54	0,05	0,1	2,12	0	1,5	0,1	0,52	2,12	0,05
33	7,79	274	1,58	0,5	0,6	0,1	2,78	0	1,78	0,12	0,83	2,73	0,94

No	pH	CE	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Suma	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Suma	% error
		µS cm <sup>-1</sup>	meq/L					meq/L					
34	7,3	287,5	1,65	0,55	0,6	0,1	2,89	0	1,86	0,14	0,84	2,84	0,87
35	8,14	269,5	1,6	0,4	0,63	0,1	2,73	0	1,91	0,1	0,67	2,68	0,92
36	6,99	168,1	0,7	0,56	0,51	0,08	1,85	0	1,34	0,07	0,4	1,81	0,93
37	7,29	338	1,7	0,99	0,68	0,11	3,48	0	2,25	0,09	1,13	3,48	0,08
38	7,07	295	1,43	0,74	0,64	0,16	2,97	0	2,3	0,17	0,53	2,99	0,32
39	7,44	266,5	1,3	0,73	0,57	0,09	2,7	0	1,9	0,12	0,65	2,67	0,57
40	7,52	267,5	1,34	0,51	0,57	0,09	2,51	0	1,9	0,09	0,54	2,54	0,56
41	7,5	227	1,11	0,64	0,56	0,09	2,39	0	1,5	0,17	0,68	2,35	0,94
42	7,56	389,5	1,9	0,85	0,68	0,15	3,58	0	2	0,2	1,33	3,53	0,66
43	7,85	297	1,31	0,74	0,58	0,1	2,73	0	1,62	0,17	0,9	2,69	0,84
44	7,75	238,5	1,07	0,73	0,55	0,09	2,44	0	1,69	0,14	0,57	2,4	0,85
45	6,59	303	1,62	0,49	0,6	0,12	2,82	0	1,96	0,14	0,68	2,77	0,84
46	7,4	482,5	2,99	0,88	1,02	0,14	5,03	0	2,56	0,14	2,24	4,94	0,97
47	7,66	330	1,76	0,64	0,68	0,11	3,2	0	1,86	0,12	1,16	3,14	0,95
48	8	345	2	0,27	0,98	0,16	3,41	0	2,3	0,11	0,95	3,36	0,77
49	7,49	350	1,6	0,97	0,83	0,13	3,53	0	2,25	0,16	1,15	3,56	0,41
50	7,5	325,5	1,74	0,68	0,67	0,1	3,19	0	2	0,13	1	3,14	0,8
51	6,77	327,5	1,4	0,57	0,66	0,35	2,98	0	1,96	0,2	0,77	2,93	0,85
52	8,31	291	1,47	0,57	0,62	0,1	2,76	0	1,9	0,14	0,68	2,71	0,88
53	8,21	278,5	1,27	0,75	0,59	0,09	2,7	0	1,82	0,12	0,81	2,75	0,88
54	8,09	261,5	1,43	0,53	0,6	0,08	2,64	0	1,77	0,12	0,73	2,62	0,49
55	7,97	345	1,9	0,56	0,72	0,1	3,29	0	2,05	0,14	1,06	3,24	0,69
56	7,81	405	1,9	1,14	0,83	0,11	3,98	0	1,9	0,18	1,97	4,05	0,8



No	pH	CE	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Suma	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Suma	% error
		μS cm <sup>-1</sup>	meq/L					meq/L					
57	7,81	367	2	0,8	0,91	0,1	3,81	0	2,1	0,11	1,53	3,73	0,98
58	7,74	301,5	1,22	0,79	0,9	0,09	3	0	2,2	0,14	0,69	3,03	0,45
59	7,94	307,5	1,2	0,99	0,69	0,09	2,98	0	1,78	0,12	1,04	2,93	0,74
60	7,75	308,5	1,52	0,63	0,67	0,09	2,91	0	1,86	0,11	0,99	2,96	0,87
61	7,3	653,5	3	2,15	1,33	0,15	6,64	0	2,34	0,2	3,98	6,51	0,92
62	7,63	406	1,75	1	0,9	0,12	3,77	0	2,15	0,2	1,38	3,73	0,64
63	7,55	369	1,9	0,77	0,88	0,12	3,67	0	1,4	0,2	2,1	3,7	0,43
64	8,06	351	1,75	1,02	0,96	0,13	3,87	0	2,65	0,15	1	3,8	0,92
65	8,22	320	1,45	0,93	0,83	0,12	3,33	0	1,94	0,17	1,17	3,28	0,79
66	7,58	269,5	1,15	0,92	0,75	0,11	2,92	0	1,95	0,16	0,76	2,87	0,85
67	7,82	322	1,5	0,93	0,94	0,13	3,49	0	2,25	0,13	1,15	3,53	0,54
68	8,03	329,5	1,4	0,9	0,85	0,12	3,27	0	1,8	0,18	1,3	3,28	0,12
69	7,5	422,5	1,16	1,2	1,16	0,13	3,65	0	1,81	0,16	1,72	3,69	0,51
70	8,22	339,5	1,1	1,06	1,05	0,12	3,33	0	1,9	0,24	1,2	3,34	0,17
71	7,74	430	2,2	0,95	1,07	0,12	4,35	0	0,8	0,45	3,12	4,37	0,32

c) Año 2016

No.	pH	CE μS cm <sup>-1</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Suma meq L <sup>-1</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Suma	RSE mg L <sup>-1</sup>	% Error
1	7,8	411	0,759	0,30	1,20	0,05	2,31	0,0	2,95	0,22	1,37	4,54	591,2	0,34
2	8,1	416	0,849	0,93	2,07	0,15	4,00	0,0	3,25	0,15	1,25	4,64	484,2	0,76
3	7,9	322	0,585	0,92	0,97	0,01	2,48	0,0	2,62	0,14	0,83	3,60	520	0,96

No.	pH	CE $\mu\text{S cm}^{-1}$	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Suma	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Suma	RSE mg L <sup>-1</sup>	% Error
							meq L <sup>-1</sup>							
4	9,0	320	0,566	0,92	1,24	0,04	2,76	0,0	2,64	0,15	0,81	3,61	470,1	1,35
5	8,0	355	0,574	0,93	2,31	0,16	3,97	0,0	2,79	0,11	0,85	3,75	512,3	1,97
6	7,9	335	0,612	0,93	1,12	0,04	2,70	0,0	2,70	0,12	0,85	3,68	481,2	0,08
7	7,6	324	0,555	0,92	1,18	0,07	2,73	0,0	2,75	0,14	0,77	3,66	484	1,50
8	9,4	269	0,437	0,91	1,16	0,07	2,58	0,0	2,29	0,17	0,56	3,03	479,5	1,29
9	9,9	304	0,515	0,92	1,70	0,13	3,26	0,0	2,39	0,17	0,67	3,23	507,1	1,82

Es importante dentro del análisis de composición química de las aguas conocer la familia a la que pertenece el agua estudiada ya que de esta manera se puede inferir los efectos que pueden ocurrir en los suelos y cultivos al ser utilizada como agua para riego además de proporcionar información del origen de sus yacimientos (Carrera, D., 2011) .

Existen métodos para este análisis de la tipología del agua un de los cuales es el diagrama trilineal de Piper, el mismo que está conformado por dos triángulos equiláteros, uno para los cationes y otro para los aniones, los datos de los diagramas triangulares se proyectan en el rombo central en el que se representa la composición del agua deducida a partir de aniones y cationes (Helsel & Hirsch, 2002).

En las Figuras 4.1 y 4.2 se presentan para las muestras analizadas los diagramas de Piper, tanto para el mes de enero y Agosto del 2016 respectivamente.

## 4.2. VERIFICACIÓN DE LOS DATOS

En el presente trabajo de investigación se realizó la verificación de la exactitud de los resultados de los análisis realizados en el laboratorio sobre las muestras de agua mediante el balance de iones y también empleando los datos de sólidos disueltos, conductividad eléctrica y sus relaciones.

Para establecer el valor real de una magnitud física, se realizan medidas de ella, normalmente mediante la cuenta de un número de sucesos o por comparación con una unidad de medida. Por el propio procedimiento es imposible determinar el valor verdadero de la magnitud en cuestión. Todos los valores medidos sufrirán errores debidos a la limitada precisión de los aparatos de medida y los sentidos del observador, así como a otras razones intrínsecas de la estructura de la materia por lo cual es importante la comprobación del porcentaje de error la cual se realizó mediante la ecuación 1 que se presenta a continuación (APHA, 1995).

$$\% Error = \frac{\left| \sum meqL^{-1}_{cationes} - \sum meqL^{-1}_{aniones} \right|}{\sum meqL^{-1}_{cationes} + \sum meqL^{-1}_{aniones}} \quad (\text{Ecuación 1})$$

En la normativa se indican los valores permisibles de error para el balance de iones en los análisis realizados en el laboratorio, se presenta en la Cuadro 4.3 con los valores permisibles para las determinaciones analíticas.

**CUADRO 4. 3 PORCENTAJES PERMISIBLES DE ERROR EN LOS RESULTADOS ANALÍTICOS**

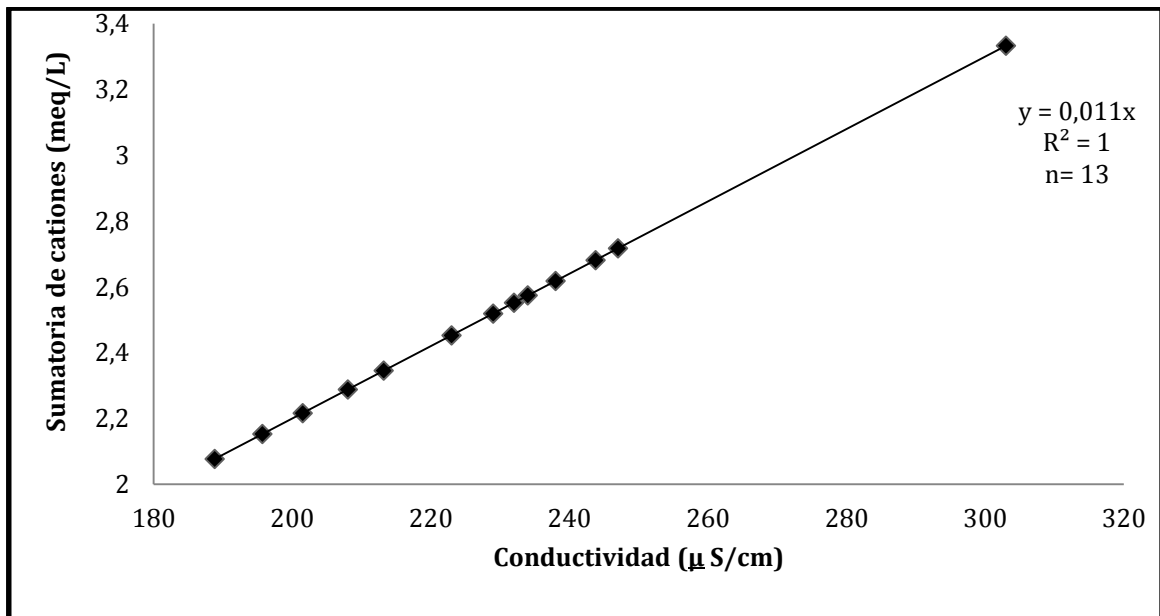
Suma de cationes (meq /L)	Porcentaje de diferencia aceptable
0,0 - 3,0	± 0,2%
3,0 - 10,0	± 2,0%
20,0 – 800,0	± 2,5%

Los resultados para los datos en época de estiaje se calculó un valor promedio en la suma de cationes de 3,00 meq L<sup>-1</sup>, en la suma de aniones 3,74 meq L<sup>-1</sup>, lo que da un porcentaje de error promedio de 1,1%, y de igual manera para el muestreo en época de lluvias intensas se tiene un valor promedio en la suma de cationes de 3,00 meq L<sup>-1</sup>, en la suma de aniones 3,00 meq L<sup>-1</sup>, lo que da un porcentaje de error promedio de 0%.

Según Richards *et al.* 1959, la regresión lineal de la función que se obtiene de graficar la conductividad eléctrica con respecto a la concentración de aniones y cationes y esta debe dar una pendiente alrededor de 0,008 a 0,011, dependiendo del tipo de sal que va desde aguas con Bicarbonatos o Sulfatos ricas en Calcio y Magnesio a aguas ricas en cloruros y Sodio respectivamente (Richards, 1959), lo descrito anteriormente puede ser apreciado en las Figura 4.1 a), b), c), y d) en las que se puede ver que las pendientes obtenidas están en 0,0011 para las aguas en la época de lluvias y época de estiaje, las mismas que están dentro del intervalo recomendado, por lo que se concluye que los datos analíticos fueron correctos.

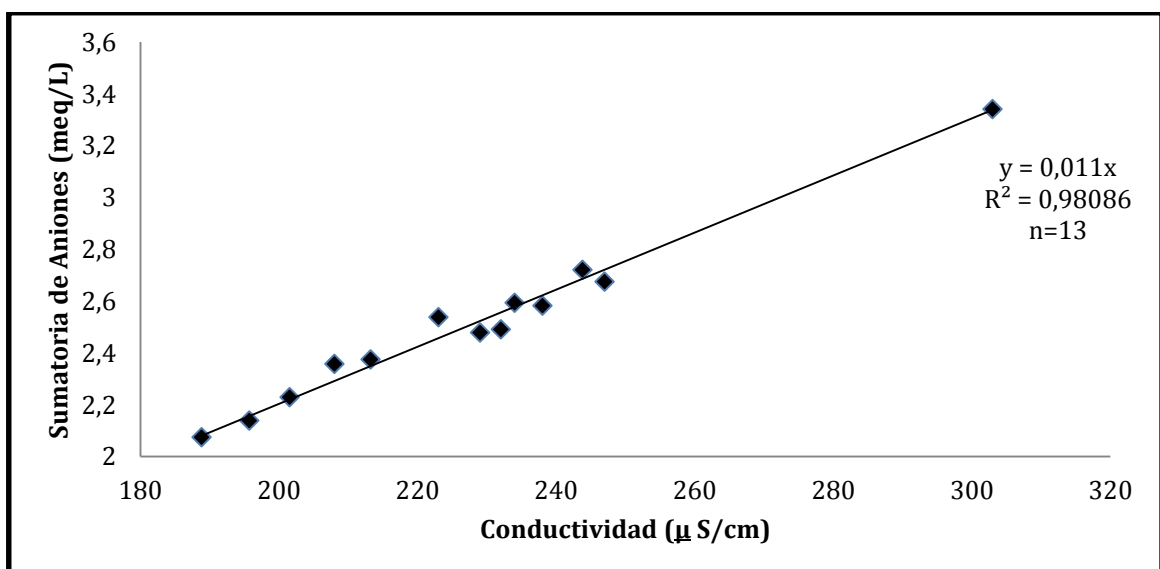
**FIGURA 4. 1 RELACIÓN ENTRE LA SUMATORIA DE CATIONES Y LA CONDUCTIVIDAD**

a) Cationes vs Conductividad Época de lluvias intensas Enero 2016

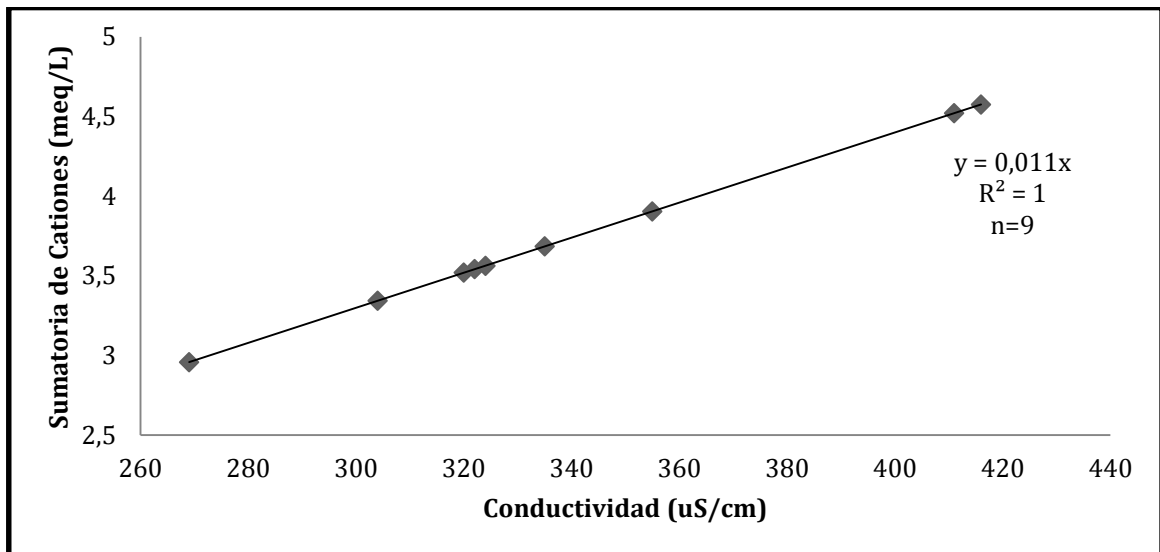


ELABORADA POR: ANDREA NATALIA DELGADO MONTUFAR

b) Aniones vs Conductividad en época de lluvias intensas

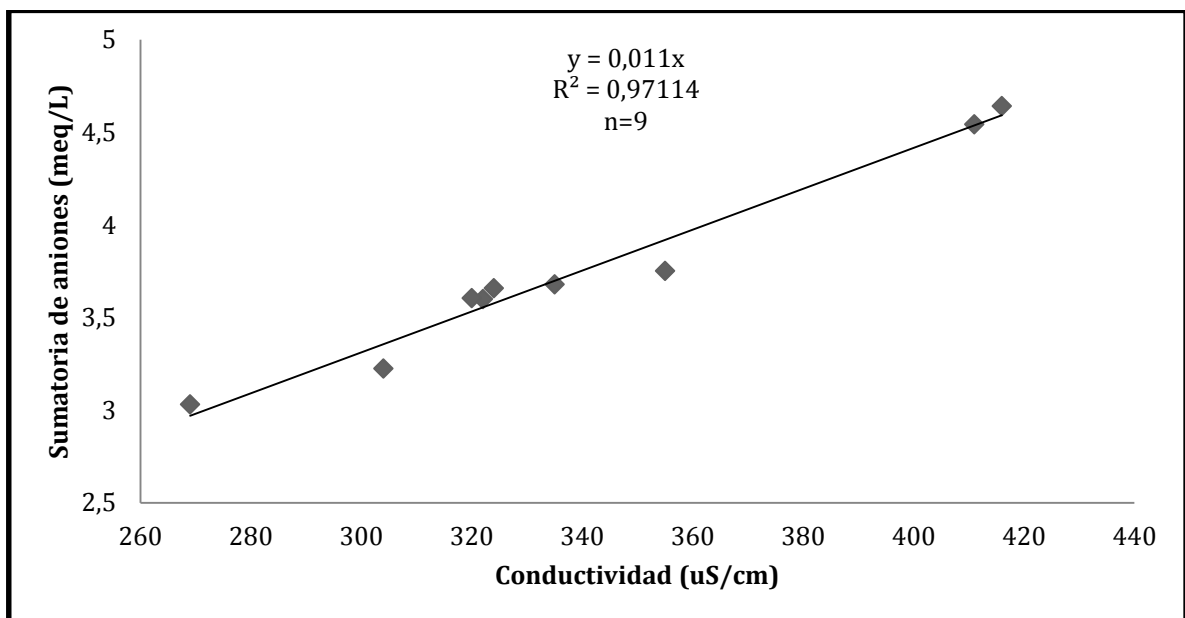


## b) Sumatoria de cationes vs Conductividad en la época de estiaje



ELABORADA POR: ANDREA NATALIA DELGADO MONTUFAR

## d) Sumatoria de aniones vs Conductividad en la época de estiaje



La conductividad eléctrica está directamente relacionada con la concentración de sales disueltas en el agua (SDT), Richards *et al.*(1959) estableció que la relación

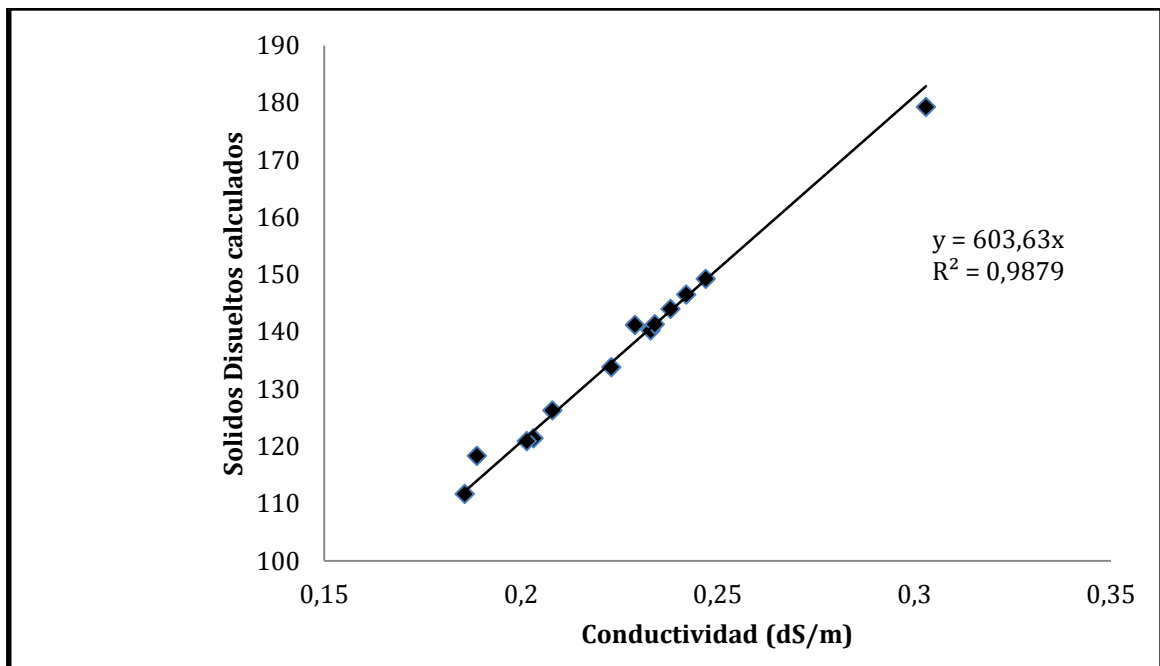
funcional entra los STD y la CE están dados por la ecuación (2) representando una recta ideal tomando como pendiente 640 la cual puede variar entre 550 y 750.

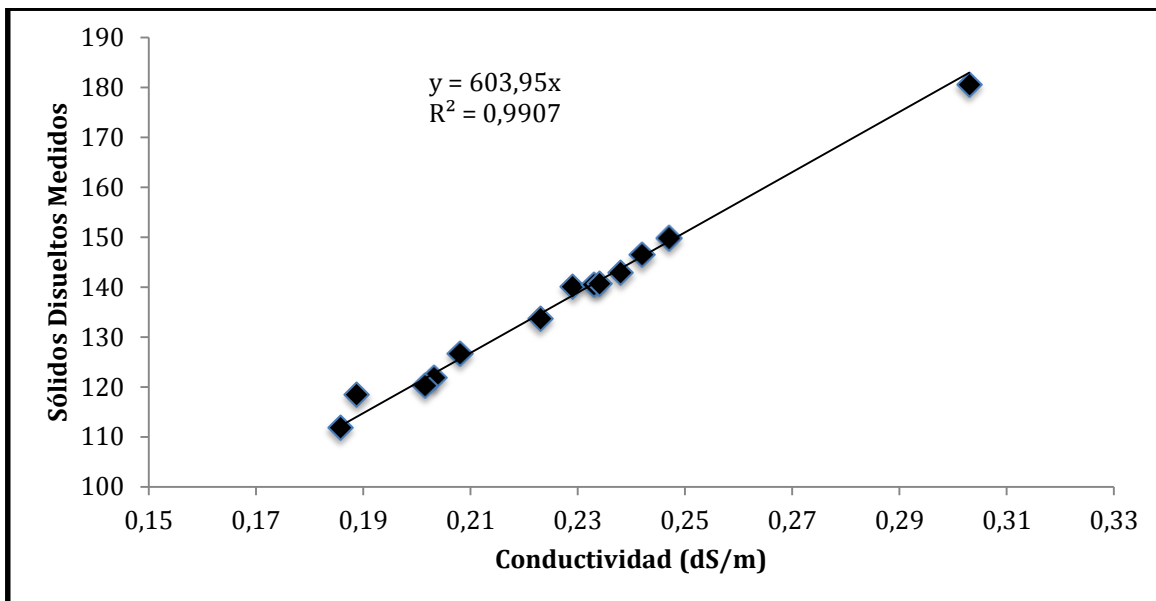
$$SDT \text{ calculados} = 640 * CE \quad (\text{Ecuación 2})$$

Para las muestras analizadas en el muestreo realizado en la época de lluvias se obtuvo para STD calculados una pendiente de 749,09 mientras que para los STD medidos una pendiente de 603,95, para el muestreo en la época de estiaje se obtuvo una pendiente de 750 y 640 respectivamente.

En la Figuras 4.1 Y 4.2 se muestra la relación de CE y STD medidos y calculados para las muestras analizadas, los sólidos disueltos calculados son el resultado de la suma de los 8 iones considerados en mg/l.

**FIGURA 4. 2 RELACIÓN ENTRE LOS SÓLIDOS DISUELTOS CALCULADOS Y LA CONDUCTIVIDAD**



**FIGURA 4. 3 RELACIÓN ENTRE SÓLIDOS DISUELTOS Y LA CONDUCTIVIDAD**

Como se observa en los gráficos las relaciones entre la conductividad y los sólidos disueltos tanto los calculados como los medidos las pendientes son de 603 en donde los coeficientes son de 0,99 que nos indica que los datos cumplen una linealidad.

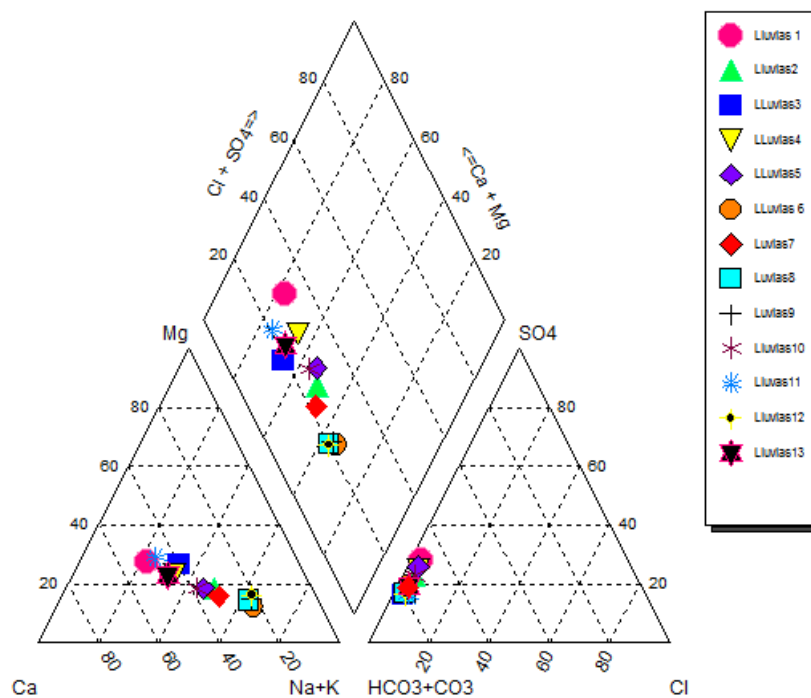
Es importante dentro del análisis de composición química de las aguas conocer la familia a la que pertenece el agua estudiada ya que de esta manera se puede inferir los efectos que pueden ocurrir en los suelos y cultivos al ser utilizada como agua para riego además de proporcionar información del origen de sus yacimientos (Carrera, D., 2011).

Uno de los métodos más comunes para este análisis es el diagrama trilineal de Piper, el mismo que está conformado por dos triángulos equiláteros, uno para los cationes y otro para los aniones, los datos de los diagramas triangulares se proyectan en el rombo central en el que se representa la composición del agua deducida a partir de aniones y cationes (Helsel & Hirsch, 2002).

En las Figuras 4.4 y 4.5 se presentan para las muestras analizadas los diagramas de Piper, tanto para el mes de mayo y Agosto del 2016 respectivamente.

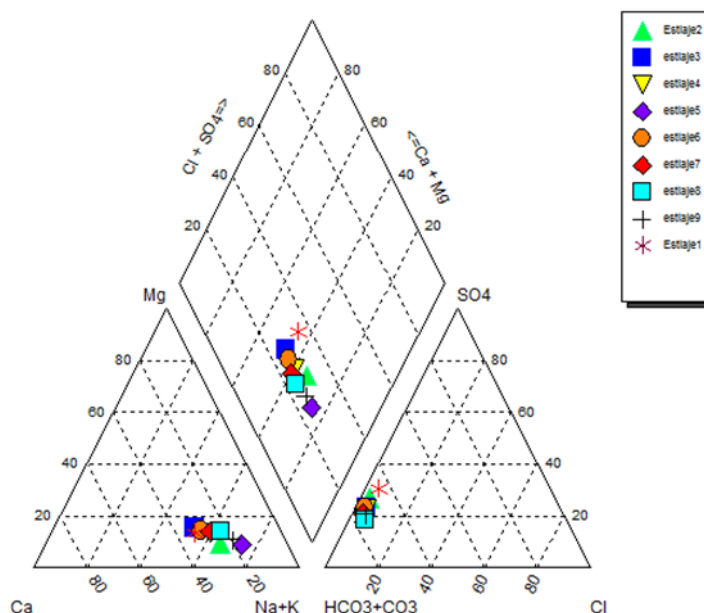


FIGURA 4. 4 DIAGRAMA DE PIPER PARA LA ÉPOCA LLUVIOSA DEL AÑO 2016



En la siguiente Figura 4.5 se presenta el diagrama de Piper realizado para la época de estiaje del año 2016

**FIGURA 4. 5 DIAGRAMA DE PIPER PARA LA ÉPOCA DE ESTIAJE PARA LA ÉPOCA DE ESTIAJE DEL AÑO 2016**



Como se observa en el diagrama de Piper, tanto para el muestreo realizado en enero como en Agosto las muestras pertenecen a las familias bicarbonatadas cálcicas-magnésicas y sódicas presentándose como anión predominante el Bicarbonato y como cationes predominantes el Sodio el Calcio y el Magnesio.

### 4.3. PARÁMETROS FÍSICO QUÍMICOS DE LAS AGUAS

#### 4.3.1. TEMPERATURA

La temperatura del agua del Sistema Hidrográfico del Río grande tienen un promedio de 25 grados centígrados en la época de lluvias y en la época de estiaje esta temperatura aumenta hasta en promedio 30 grados centígrados durante los tres años de estudios, no ha existido un cambio drástico de temperaturas, a continuación en el Cuadro 4. 4 se presenta un resumen de las temperaturas medidas en campo.

**CUADRO 4. 4 TEMPERATURAS PROMEDIO DE LAS AGUAS DE LOS AÑOS 2014, 2015, 2016**

Punto de muestreo LLUVIAS	Promedio Temperatura	Punto de muestreo ESTIAJE	Promedio Temperatura
	°C		°C
1	25	1	23
2	25	2	24
3	25	3	26
4	26	4	28
5	28	5	28
6	28	6	27
7	27	7	28
8	27	8	32
9	27	9	28
10	28		
11	25		
12	27		
13	27		

Las variaciones de temperatura afectan la solubilidad de las sales y gases en el agua y en general a todas sus propiedades, tanto químicas como a su comportamiento microbiológico. Aunque la temperatura de un agua superficial está ligada a la irradiación recibida, la de las aguas profundas de embalses y lagos experimentan una secuencia cíclica dependiendo del clima.

#### **4.3.2. POTENCIAL DE HIDROGENO Ph**

El pH de un agua se debe sobre todo al equilibrio carbónico y la actividad vital de los microorganismos acuáticos. El valor de pH de las aguas superficiales se encuentran en el intervalo de 6 a 8,5 en este caso las aguas si se encuentran en los rangos esperados de pH, a continuación se observa en el Cuadro 4.5 los valores de pH para los años 2014, 2015 y 2016.

**CUADRO 4. 5 POTENCIAL DE HIDRÓGENO PROMEDIO DE LAS AGUAS EN LOS AÑOS 2014, 2015, 2016**

Punto de muestreo LLUVIAS	Promedio	Punto de muestreo ESTIAJE	Promedio
	pH		pH
1	7,79	1	7,87
2	7,77	2	8,1
3	7,89	3	7,99
4	7,83	4	9,08
5	7,18	5	8,03
6	7,34	6	7,92
7	7,74	7	7,66
8	7,17	8	9,43
9	7,17	9	9,96
10	8,53		
11	7,92		
12	7,1		
13	6,94		

Dentro del rango de pH se encuentran el 90% de los puntos sin embargo existen ciertos puntos en la época de estiaje que tienen un pH cercano incluso a 10, esto se explica fácilmente debido a que en esta época al haber mayor evaporación y menos precipitaciones las sales presentes en el agua

#### **4.3.3. CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (CE)**

La conductividad de una sustancia se define como "la habilidad o poder de conducir o transmitir calor, electricidad o sonido". Las unidades son Siemens por metro [S/m]

en sistema de medición SI y micromhos por centímetro [mmho/cm] en unidades estándar de EE.UU.. Su símbolo es k or s.

**CUADRO 4. 6 CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DE LAS MUESTRAS TOMADAS EN LAS ÉPOCAS DE LLUVIAS Y DE ESTIAJE**

Punto de muestreo LLUVIAS	CE	Punto de muestreo ESTIAJE	CE
	$\mu\text{S cm}^{-1}$		$\mu\text{S cm}^{-1}$
1	229	1	411
2	203,2	2	406
3	223	3	322
4	201,5	4	320
5	208	5	355
6	247	6	335
7	188,8	7	324
8	185,7	8	269
9	233	9	304
10	238		
11	303		
12	242		
13	234		

En el Cuadro 4.6 se presentan los valores de conductividad de las aguas y se observa que en la época de lluvia son menores esto debido a la evidente dilución de sales que existe por las precipitaciones de la época, en contraste en la época de estiaje se tienen valores de conductividades que llegan hasta 411  $\mu\text{S cm}^{-1}$  .

#### 4.3.4.SODIO (Na)

Durante millones de años el Sodio se ha desprendido de rocas y suelos, para ir a parar a los cuerpos de agua, donde permanece alrededor de 50.106 de años. El

agua de mar contiene aproximadamente 11 ppm de Sodio. Los ríos contienen sólo una concentración media de 9 ppm. El agua potable suele contener alrededor de 50 mg/L de Sodio (Martinez M. , 2000). Este valor es claramente más alto para el agua mineral. El Sodio en disolución se encuentra en forma de iones  $\text{Na}^+$ . En el análisis de las aguas del río Grande se obtuvo los valores de concentración que se presentan a continuación en el Cuadro 4.7.

**CUADRO 4. 7 CONCENTRACIÓN DE SODIO DE LA AGUAS DEL RÍO GRANDE EN LAS ÉPOCAS DE LLUVIAS Y ESTIAJE**

Punto de muestreo LLUVIAS	Na <sup>+</sup>	Punto de muestreo ESTIAJE	Na <sup>+</sup>
	mg/L		mg/L
1	2,549	1	27,54
2	25,01	2	47,6
3	15,29	3	22,25
4	20,23	4	28,49
5	19,31	5	53,2
6	10,74	6	25,64
7	2,74	7	27,13
8	17,2	8	26,67
9	4,61	9	39,05
10	11,46		
11	4,94		
12	4,634		
13	10,97		

Los valores de Sodio oscilan entre 2 miligramos a 53 miligramos por litro en las dos épocas del año sin embargo como se explicó anteriormente debido a las precipitaciones en la época lluviosa los iones se diluyen y por lo tanto las concentraciones son drásticamente cambiantes de una época a otra.

#### 4.3.5. POTASIO (K)

El Potasio es un elemento muy abundante y es el séptimo entre todos los elementos de la corteza terrestre; el 2,59% de ella corresponde a Potasio en forma combinada. El agua de mar contiene 380 ppm, lo cual significa que el Potasio es el sexto más abundante en solución (Martinez M. , 2000).

En el Cuadro 4. 8 se presentan los valores de Potasio obtenidos en laboratorio.

**CUADRO 4. 8 CONCENTRACIONES DE SODIO EN EL RÍO GRANDE EN LA ÉPOCA DE LLUVIAS Y ESTIAJE**

Punto de muestreo LLUVIAS	K <sup>+</sup>	Punto de muestreo ESTIAJE	K <sup>+</sup>
	mg/L		mg/L
1	2,98	1	2,05
2	4,82	2	5,86
3	3,03	3	0,48
4	3,16	4	1,39
5	4,48	5	6,24
6	3,35	6	1,7
7	2,35	7	2,67
8	4,2	8	2,84
9	4,94	9	4,92
10	4,85		
11	3,98		
12	5,44		
13	4,13		

A diferencia de las concentraciones de Sodio el Potasio en esta agua se encuentra más bajo con concentraciones de entre 2 y 6 miligramos por litro aproximadamente.

#### 4.3.6. CALCIO (Ca)

Normalmente el Calcio forma sales generalmente solubles, con aniones como hidrogenocarbonato, sulfato, cloruro y fluoruro. En general, suele ser el catión mayoritario en las aguas. Respecto a esto, el contenido medio de Calcio en los ríos oscila de acuerdo a su ubicación topográfica y también las condiciones climáticas, en el río Grande se tiene una composición de Calcio baja, en el Cuadro 4,9 se presentan los valores para las épocas de lluvias y de estiaje.

**CUADRO 4. 9 CONCENTRACIONES DE CALCIO DE LAS AGUAS DEL RÍO GRANDE PARA LA ÉPOCA DE LLUVIAS Y ESTIAJE**

Punto de muestreo LLUVIAS	Ca <sup>2+</sup>	Punto de muestreo ESTIAJE	Ca <sup>2+</sup>
	mg/L		mg/L
1	8,2764	1	15,18
2	8,3148	2	16,99
3	9,1286	3	11,7
4	6,9144	4	11,32
5	6,4618	5	11,49
6	9,6834	6	12,24
7	6,7905	7	11,1
8	5,6956	8	8,74
9	9,3886	9	10,31
10	8,1938		
11	7,5309		
12	8,74		
13	9,0831		

Como se observa las concentraciones como en los demás parámetros en la época de estiaje las concentraciones son más altas que en la época de lluvias, esto debido



a lo que se explicó anteriormente al existir más lluvias se disuelven los componentes.

#### 4.3.7. MAGNESIO (Mg)

El Magnesio está presente en el agua de mar en concentraciones de 1.300 ppm. Después del Sodio, el Magnesio es el catión que se encuentra en mayores proporciones en el océano. Los ríos contienen aproximadamente 4 ppm de Magnesio, las algas marinas contienen 6.000-20.000 ppm, y las ostras alrededor de 1.200 ppm (Martinez M. , 2000).

El Magnesio y otros metales alcalinotérreos son responsables de la dureza del agua. El agua que contiene grandes cantidades de iones alcalinotérreos se denomina agua dura, y el agua que contiene bajas concentraciones de estos iones se conoce como agua blanda. Los metales de Magnesio no están afectados por el agua a temperatura ambiente. El Magnesio generalmente es un elemento poco reactivo, pero su reactividad aumenta con niveles de oxígeno a continuación en el Cuadro 4.10 se presentan los valores de concentración.

**CUADRO 4. 10 CONCENTRACIONES DE MAGNESIO DE LAS AGUAS DEL RÍO GRANDE EN LAS ÉPOCAS DE LLUVIAS Y DE ESTIAJE**

Punto de muestreo LLUVIAS	Mg <sup>2+</sup>	Punto de muestreo ESTIAJE	Mg <sup>2+</sup>
	mg/L		mg/L
1	2,78054	1	3,711
2	2,7044	2	3,66
3	2,7351	3	3,46
4	2,6479	4	3,47
5	2,7219	5	3,56
6	2,8046	6	3,58
7	2,5597	7	3,53
8	2,6501	8	3,33

Punto de muestreo LLUVIAS	Mg <sup>2+</sup>	Punto de muestreo ESTIAJE	Mg <sup>2+</sup>
	mg/L		mg/L
9	2,8481	9	3,47
10	2,841		
11	3,046		
12	2,86		
13	2,85		

Los valores de Magnesio en la época de lluvias oscila entre 2 y 3 mg/L y en la época de estiaje por otro lado las concentraciones son más altas y llegan hasta 3,711 mg/L.

#### 4.3.8. CLORUROS

El ion cloruro (Cl<sup>-</sup>), es uno de los aniones inorgánicos principales en el agua natural y residual. El contenido de cloruros de las aguas naturales son variables y depende principalmente de la naturaleza de los terrenos atravesados, en cualquier caso, esta cantidad siempre es menor que la que se encuentra en las aguas residuales, ya que el cloruro de Sodio o sal de mesa (ClNa) es común en la dieta y pasa inalterado a través del aparato digestivo. El aumento de cloruros en una muestra de agua puede tener orígenes diversos. A continuación se presenta en el Cuadro 4.11 los valores de concentración de los cloruros de los puntos muestreados en el río Grande en la época de lluvias y de estiaje.

**CUADRO 4. 11 CONCENTRACIONES DE CLORUROS DE LAS AGUAS DEL RÍO GRANDE PARA LAS ÉPOCAS DE LLUVIAS Y ESTIAJE**

Punto de muestreo LLUVIAS	Cl <sup>-</sup>	Punto de muestreo ESTIAJE	Cl <sup>-</sup>
	mg/L		mg/L
1	3,05	1	7,78

Punto de muestreo LLUVIAS	Cl <sup>-</sup>	Punto de muestreo ESTIAJE	Cl <sup>-</sup>
	mg/L		mg/L
2	2,86	2	5,19
3	3,24	3	5,14
4	2,95	4	5,5
5	3	5	3,99
6	3,69	6	4,31
7	3,62	7	4,81
8	2,82	8	6,19
9	3,63	9	5,9
10	3,47		
11	3,93		
12	3,39		
13	3,23		

#### 4.3.9. SULFATOS

Los sulfatos se producen de forma natural en el agua subterránea, ya que están compuestos de azufre y oxígeno, ambos de los cuales se pueden encontrar en el suelo y rocas. Otra forma de azufre que puede estar presente en el agua es el sulfuro de gas de hidrógeno. El sulfuro de hidrógeno es también una sustancia de origen natural en algunas aguas subterráneas. Está presente en las zonas que contienen grandes cantidades de materia orgánica en descomposición y es causada principalmente por bacterias reductoras de sulfato que reaccionan con el azufre. En algunos casos, los calentadores de agua también pueden producir sulfuro de hidrógeno, como una barra de Magnesio que es una parte de algunos de estos sistemas reacciona con sulfatos que aparecen naturalmente en el agua (Martinez M. , 2000).

A continuación en el Cuadro 4.12 se presentan los valores de sulfatos obtenidos en laboratorio para las aguas muestreadas del Río Grande tanto para la época de lluvias como para la época de estiaje.

**CUADRO 4. 12 CONCENTRACIONES DE SULFATOS DE LAS AGUAS DEL RÍO GRANDE PARA LAS ÉPOCAS DE LLUVIAS Y DE ESTIAJE**

Punto de muestreo LLUVIAS	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Punto de muestreo ESTIAJE	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
	mg/L		mg/L
1	33	1	66
2	22	2	60
3	23	3	40
4	18	4	39
5	21	5	41
6	29	6	41
7	16	7	37
8	17	8	27
9	25	9	32
10	28		
11	26		
12	30		
13	32		

#### 4.3.2. BORO Y DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO

El desarrollo de la actividad agrícola depende, entre otros factores, de la cantidad y calidad del agua disponible para riego. La calidad varía ampliamente de acuerdo con la cantidad y tipo de sales que contenga, ya que algunos elementos, como el Boro (B), son tóxicos para las plantas. La toxicidad del Boro se presenta en concentraciones arriba de 1,25 mg l<sup>-1</sup> para la mayoría de las plantas (Fox, 1968). Después del análisis de las aguas se encontró que no existe Boro más que en trazas en el sistema hidrográfico analizado, es decir las aguas en cuanto a este parámetro podrían ser utilizadas para riego.

En cuanto a la Demanda Química de Oxígeno (DQO) al igual que el contenido de Boro, el DQO dio resultados bajos que indican que las aguas tienen baja carga orgánica y baja carga inorgánica aun, es decir que las algas y cianobacterias del agua no se encuentran en estado productivo o en estado de descomposición sino por el contrario su crecimiento se está acelerando debido al exceso de los nutrientes antes mencionados.

#### **4.3.10. OXÍGENO DISUELTO**

En un cuerpo de agua se produce y a la vez se consume oxígeno. La producción de oxígeno está relacionada con la fotosíntesis, mientras el consumo dependerá de la respiración, descomposición de sustancias orgánicas y otras reacciones químicas. También puede intercambiarse oxígeno con la atmósfera por difusión o mezcla turbulenta. La concentración total de oxígeno disuelto ([OD]) dependerá del balance entre todos estos fenómenos. Si es consumido más oxígeno que el que se produce y capta en el sistema, la concentración de O<sub>2</sub> caerá, pudiendo alcanzar niveles por debajo de los necesarios para la vida de muchos organismos. Los peces son particularmente sensibles a la hipoxia.

#### **4.3.11. FOSFATOS**

En la composición de las aguas se analizó con atención el fosfato debido a su implicación en la eutrofización de las aguas. Los compuestos del fósforo son nutrientes de las plantas y conducen al crecimiento de algas en las aguas superficiales. Dependiendo de la concentración de fosfato existente en el agua, puede producirse la eutrofización. Tan sólo 1 g de fosfato-fósforo (PO<sub>4</sub>-P) provoca el crecimiento de hasta 100 g de algas. Cuando estas algas mueren, los procesos de descomposición dan como resultado una demanda de oxígeno de alrededor de 150 g. Los compuestos de fosfato que se encuentran en las aguas residuales o se vierten directamente a las aguas superficiales provienen de fertilizantes eliminados del suelo por el agua o viento, excreciones humanas y animales, detergentes y productos de limpieza (Plutz, 2000).

Las altas concentraciones de este nutriente puede ocasionar severos problemas ambientales comenzando por ayudar a la eutrofización de las aguas del río produciendo la muerte de peces y demás flora y fauna acuática (Llana, 2014).

El Fósforo en el suelo se encuentra combinado formando parte de diferentes fosfatos minerales y orgánicos, la forma en la cual se transforma a través del tiempo de intemperización de un suelo indica que prácticamente todo el Fósforo se encuentra en las formas minerales primarias del suelo. Estas fracciones disminuyen a través del tiempo de intemperización, debido a la disolución de los minerales primarios fosforados y los fosfatos liberados son absorbidos y posteriormente reciclado por las plantas y el microorganismo, formándose así la fracción de Fósforo el cual aumenta con la edad geológica del suelo hasta un máximo, para luego disminuir lentamente, el Fósforo disuelto desde los minerales primarios, puede ser adsorbido por las arcillas o precipitar con algunos cationes que son liberados durante la intemperización del suelo. El Fósforo inorgánico se mantiene en forma lábil por un periodo de tiempo, pudiendo ser absorbido a la solución y extraído por las plantas o microorganismos (Pinochet et al., 2001).

El Fósforo es un elemento esencial para las plantas, en general requieren de 0,2 – 0,3 mg L<sup>-1</sup> para que crezcan en óptimas condiciones. Las necesidades son variables en el crecimiento, es requerido para formar la masa foliar y para el crecimiento del fruto. En el caso de los frutales no existe un período marcado de mayor demanda, sino que es proporcional al desarrollo de los diferentes órganos (Barrios, 2014). Las concentraciones de fósforo en aguas para riego deben estar entre 0 y 2 mg L<sup>-1</sup>, para que no provoquen toxicidad a los cultivos (Westcot, 1987). En la sistema hidrográfico el río Grande se determinó que tanto para la época de lluvias como para la época de estiaje el 100% de los valores medidos reflejaron que existe eutrofización, en el Cuadro 4.13, se presentan los valores medidos que en promedio para las dos épocas con un promedio de 0,9 mg/L de fosfatos en las aguas.

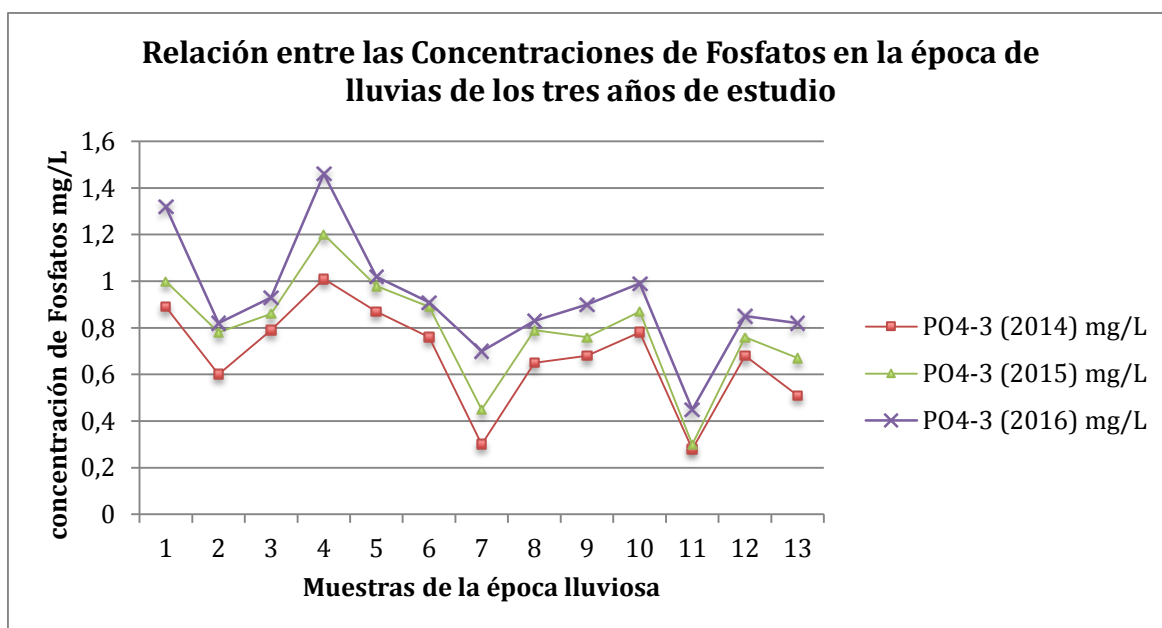
**CUADRO 4. 13 VALORES DE FOSFATOS PARA LA ÉPOCA DE LLUVIAS Y ÉPOCA DE ESTIAJE**

Época Lluvias	PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	Época Estiaje	PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>
	mg/L		mg/L
1	1,32	1	1,57
2	0,82	2	1,42
3	0,93	3	0,97
4	1,46	4	0,81
5	1,02	5	0,64
6	0,91	6	0,73
7	0,7	7	0,82
8	0,83	8	0,72
9	0,9	9	0,82
10	0,99		
11	0,45		
12	0,85		
13	0,82		
<b>Promedio</b>	<b>0,923076923</b>		<b>0,944444444</b>

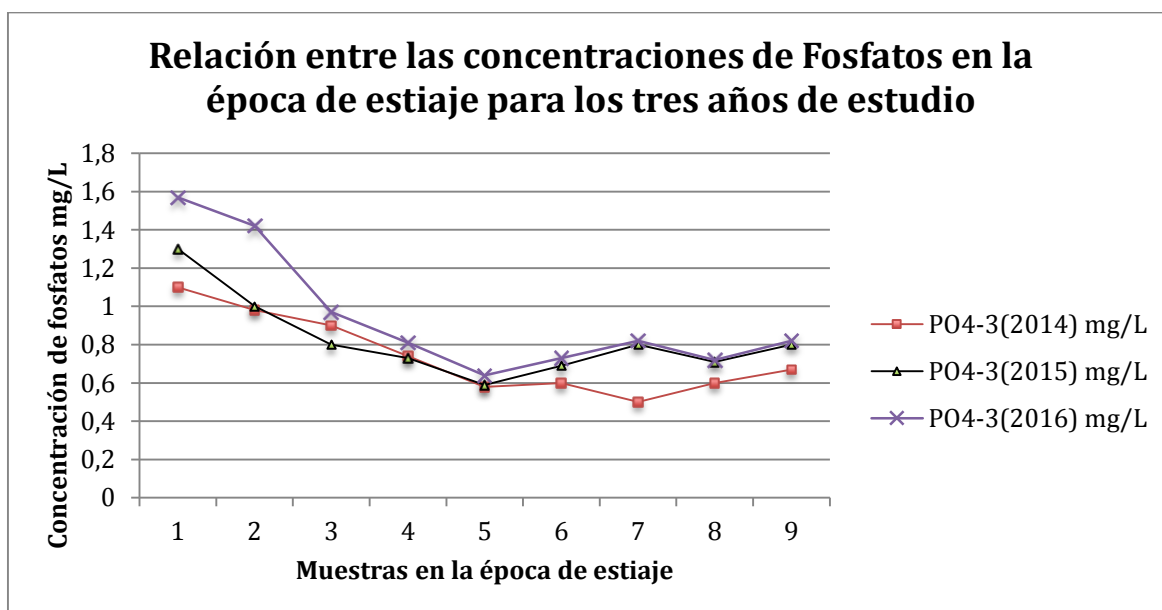
El concentración de Fósforo en la sistema hidrográfico a del río Grande se debe a la presencia de restos fósiles, donde el principal componente es el fosfato cálcico y principalmente es evidente el efecto de los cambios antropogénicos en la cuenca del río entre los que se encuentra la construcción de la represa, el estancamiento de las aguas, el hundimiento de poblados, el crecimiento desmedido de plantas acuáticas. En el sistema hidrográfico del río Grande existe un proceso de eutrofización con tendencia a seguir aumentando, eso se puede asegurar observando el crecimiento en concentración de los fosfatos en el año 2016 respecto a los estudios realizados previamente en la misma cuenca, por lo tanto es de vital importancia implementar acciones para controlar este proceso, debido a que esta zona posee un clima tropical y los pobladores llevan un uso intensivo de la tierra y

la ganadería (Yela, 2004), considerando que en su mayoría de la cuenca está destinada a uso agropecuario y además esta agua será empleada para riego de las plantaciones en la segunda fase del proyecto de propósito múltiple Chone.

**FIGURA 4. 6 RELACIÓN ENTRE LOS FOSFATOS DE LOS AÑOS 2014, 2015 Y 2016 EN LA ÉPOCA DE LLUVIAS**



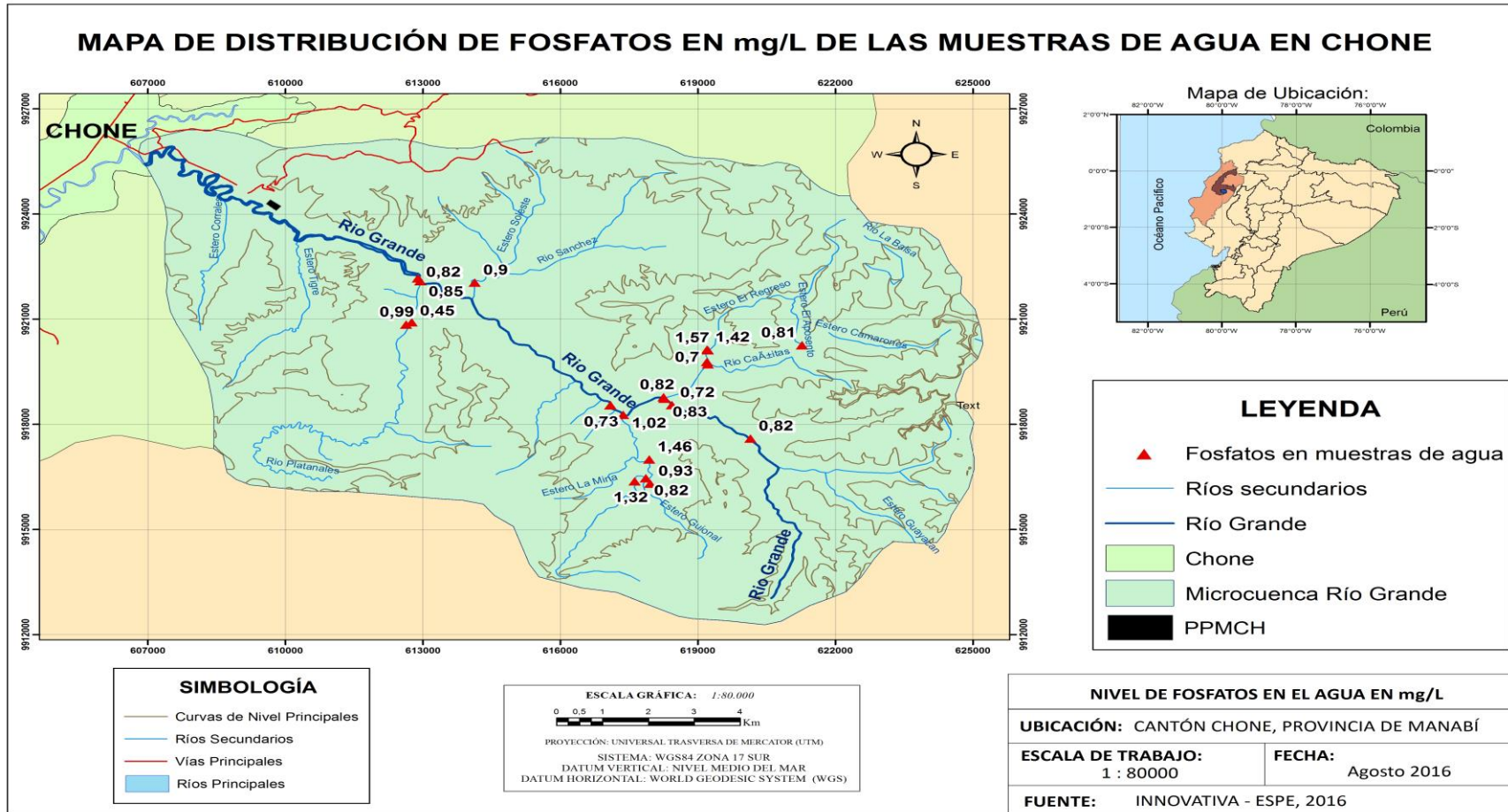
**FIGURA 4. 7 RELACIÓN ENTRE LA CONCENTRACIÓN DE FOSFATOS DE LOS AÑOS 2014, 2015 Y 2016 EN LA ÉPOCA DE ESTIAJE**





En la siguiente Figura 4.8 se observa el mapa de la distribución de los fosfatos en la zona de estudio como anteriormente se afirmó, los puntos de muestreo fueron los mismo para los tres años debido a que son críticos para la eutrofización del agua en el sistema hidrográfico del río Grande.

FIGURA 4. 8 MAPA DE DISTRIBUCIÓN DE LOS FOSFATOS EN EL SISTEMA HIDROGRÁFICO DEL RÍO GRANDE



ELABORADO POR: ANDREA NATALIA DELGADO MONTUFAR

## 4.4. ANÁLISIS MULTIVARIANTE DE COMPONENTES PRINCIPALES

### 4.4.1. VARIABLES DE ESTUDIO

Se realizó el análisis de los componentes principales que representaron el comportamiento de los iones en el agua de la cuenca del río Grande, tanto para época de lluvias y época de estiaje. Se tomó los resultados obtenidos en laboratorio de los 8 iones estudiados, se concluyó luego de aplicar el software estadístico Minitab 17, que los componentes principales que gobiernan el comportamiento iónico en las aguas son para ambas épocas no son los mismos debido a las condiciones climáticas distintas en cada época. A continuación en el Cuadro 4.14 se presentan los componentes principales para la época lluviosa del año 2016.

**CUADRO 4. 14 COMPONENTES PRINCIPALES ENERO-2016**

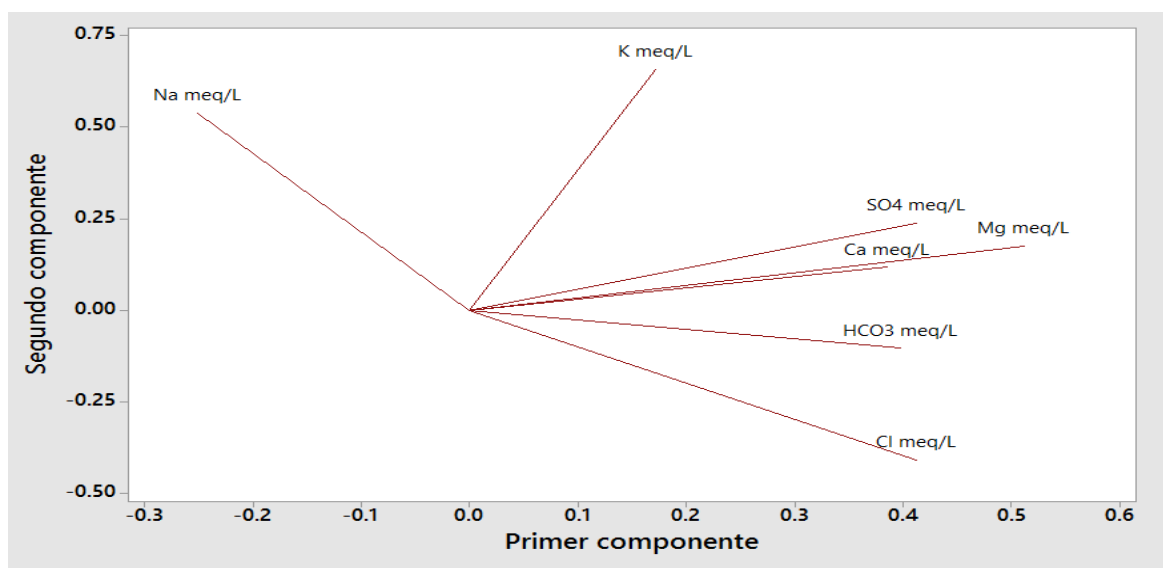
<b>Varianza Acumulada</b>	<b>0,468%</b>	<b>0,667%</b>	<b>0,828%</b>	<b>0,915%</b>
<b>Iones</b>	PC1	PC2	PC3	PC4
<b>Sodio</b>	-0,25120829	0,537826844	0,256460339	<b>-0,697822198</b>
<b>Potasio</b>	0,171822612	<b>0,657657909</b>	0,200475496	0,566569587
Calcio	0,384840825	0,116519	-0,49884193	-0,370223331
<b>Magnesio</b>	<b>0,510945483</b>	0,173876381	0,213150294	0,010061422
<b>Bicarbonatos</b>	0,397644985	-0,104134383	<b>0,584716786</b>	-0,217321373
Cloruros	0,412334294	-0,408435764	0,183734544	-0,076863605
Sulfatos	0,412386387	0,238232963	-0,47340177	-0,04171263

En el cuadro anterior se observa los valores de la varianza acumulada la cual indica el porcentaje de significancia que tienen las variables de forma acumulada, es decir que al analizar las tres componentes principales se estará analizando el 82,8% de los datos que presentan significancia. Los tres componentes principales para esta época son Magnesio, Potasio y Bicarbonatos esto quiere decir que estos compuestos son los de mayor significancia en el momento del análisis iónico de las aguas.

En cuanto al componente principal Magnesio este se presenta principalmente como  $Mg^{2+}$  (aq) en soluciones acuosas en las cuencas hidrográficas existe un gran número de minerales que contienen Magnesio, por ejemplo la dolomita (carbonato de Calcio y Magnesio,  $CaMg(CO_3)_2$ ) y la magnesita ( carbonato de Magnesio  $MgCO_3$ ). El Magnesio se desprende de las rocas y va a parar al agua al igual que muchos minerales más (Martinez M. , 2000). Al existir más lluvias el deslavado de los minerales solubles de las rocas ocurren más intensamente que en la época de sequía.

En la Figura 4.9, se muestra la gráfica de los componentes principales para el primer muestreo en la época de lluvias de enero de 2016, donde se reflejan los resultados mostrados en el cuadro presentado anteriormente. Los componentes con una longitud mayor en cada dirección son los que se consideraron como principales. Los iones Magnesio y Sodio tienen una mayor magnitud en la dirección del primer componente principal.

**FIGURA 4. 9 COMPONENTES PRINCIPALES EN LA ÉPOCA DE LLUVIAS 2016**



A continuación se presentan los resultados para la época de estiaje en donde las componentes principales en esta época son Calcio, Cloruros y Sodio como se muestra en la Cuadro 4.16 y la Figura 4.10.

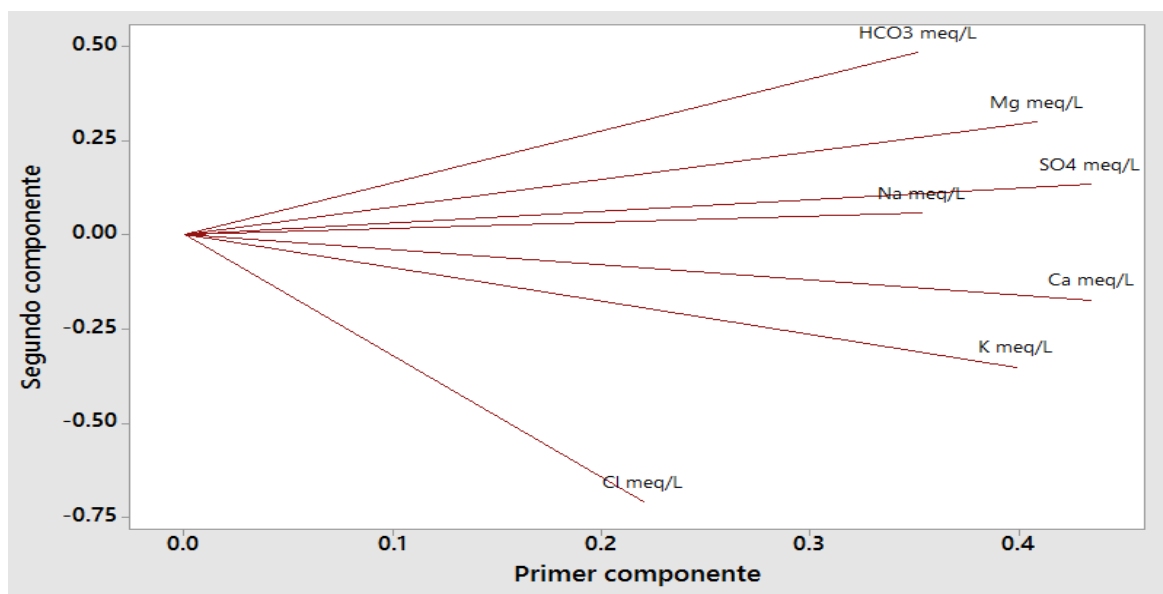
En este caso la varianza acumulada para los tres componentes es de 97,20% es decir que los componentes más significativos de la época de estiaje en orden fueron Calcio, Bicarbonatos y Sodio.

**CUADRO 4. 15 COMPONENTES PRINCIPALES PARA LA ÉPOCA DE ESTIAJE**

V Acumulada	PC1	PC2	PC3
<b>Iones</b>	<b>69,80%</b>	<b>90%</b>	<b>97,20%</b>
<b>Sodio</b>	0,353	0,058	<b>0,862</b>
<b>Potasio</b>	0,399	-0,351	0,179
<b>Calcio</b>	<b>0,434</b>	-0,173	-0,228
<b>Magnesio</b>	0,409	0,300	-0,085
<b>Bicarbonatos</b>	0,351	<b>0,484</b>	-0,227
<b>Cloruros</b>	0,220	-0,708	-0,205
<b>Sulfatos</b>	0,434	0,134	-0,270

En la Figura 4.10 se presenta la gráfica de componentes principales para Agosto de 2016 en donde se pudo observar con claridad las longitudes de los componentes siendo el mayor el Calcio.

**FIGURA 4. 10 GRÁFICA DE COMPONENTES PRINCIPALES PARA AGOSTO DE 2016**



#### **4.4.2. ANÁLISIS GEOESTADÍSTICO**

Una vez que se realizó el análisis de componentes principales se determinó que variables fueron las más representativas y de estas se realizó el análisis geoestadístico además del fosfato que es el objeto de estudio en cuanto a la eutrofización de las aguas y las tres variables más representativas para cada época.

Se extiende a continuación el análisis completo de el parámetro fosfatos en detalle con todos los gráficos obtenidos y el resto de resultados se resumen en una tabla.

#### **4.4.3. ANÁLISIS EXPLORATORIO DE DATOS (AED)**

El análisis exploratorio de datos que en adelante será abreviado como AED sirvió para evaluar los datos antes de aplicar las técnicas estadísticas pertinentes.

Consecuentemente se procura un entendimiento básico de los datos y de las relaciones existentes entre las variables analizadas, el AED proporciona métodos sencillos para organizar y preparar los datos, detectar fallos en el diseño y recogida de datos, tratamiento y evaluación de datos ausentes, identificación de casos atípicos y comprobación de los supuestos subyacentes en la mayor parte de las técnicas multivariantes (Salvador Figueras, M., Gargallo, P., 2003).

Coro (2010) , recomienda que para comprobar la distribución de variables de tipo cuantitativas se aplique el método gráfico conocido como histograma, por su facilidad de representar a primera vista la distribución de los datos, aunque advierte que para muestras pequeñas, se puede distorsionar la representación visual, de tal forma que sea poco fiable. Para esto, propone evidenciar con un diagrama de cuantiles (Q-Q plots).

Los diagramas de cuantiles comparan en un sistema de coordenadas cartesianas, los cuantiles muestrales (eje X) con los cuantiles esperados bajo la hipótesis de que los datos tienen una distribución normal. Si la distribución de partida es normal dichos diagramas tenderán a ser rectas que pasan por el origen (Castillo, S., Lozano, E., 2007).

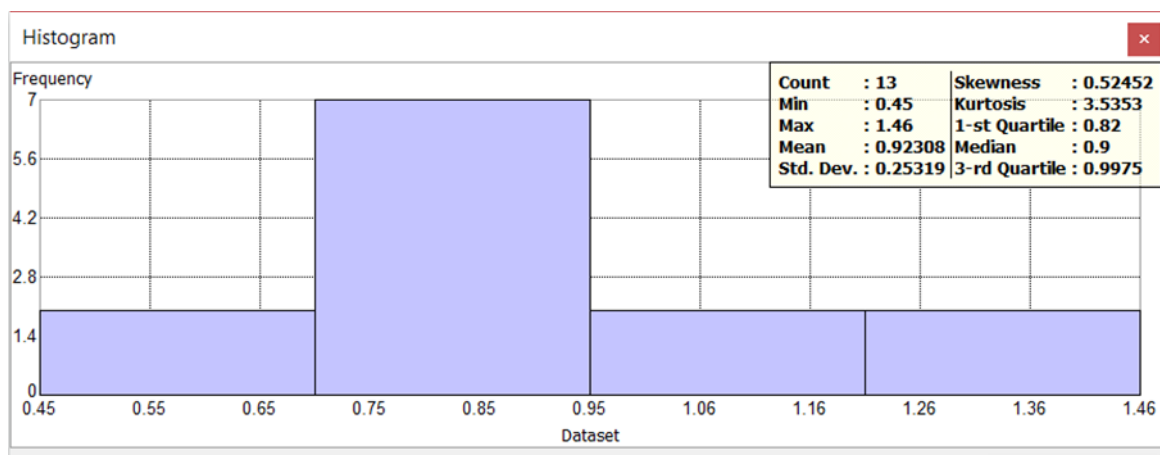
Los datos atípicos que se tengan dentro de un conjunto de muestras son otra consideración importante en el AED, este tipo de datos no pueden ser caracterizados categóricamente como benéficos o problemáticos sino que deben ser contemplados en el contexto del análisis y debe evaluarse el tipo de información que pueden proporcionar. Su principal problema radica en que son elementos que pueden no ser representativos de la población y distorsionan seriamente el comportamiento de los contrastes estadísticos (Salvador Figueras, M., Gargallo, P., 2003).

Esto se puede hacer gráficamente mediante histogramas, diagramas de caja o bien numéricamente, mediante el cálculo de puntuaciones tipificadas. Coro en 2010, indica que para datos cuantitativos que se lo haga mediante un diagrama de caja y bigotes que es una presentación visual que describe varias características importantes, al mismo tiempo, tales como la dispersión y simetría (Coro, 2010).

#### 4.4.4. MÉTODO GRÁFICO

El método gráfico usado se denomina histograma el cual se elaboró dividiendo a los datos en barras, de modo que tengan continuidad y se pueda observar la tendencia y con claridad los intervalos. En la Figura 4.11 se observa el histograma correspondiente a la variable en análisis fosfatos para el período de Enero 2016, con los valores estadísticos que describen al conjunto de datos.

**FIGURA 4. 11 HISTOGRAMA DE FOSFATOS PARA EL PERIODO DE LLUVIAS 2016**



En el histograma se pudo ver con claridad que los datos no presentaron una distribución normal simétrica, gráficamente se observó una distribución sesgada hacia la derecha y la misma se corroboró con los parámetros que definieron la forma de la distribución como son la curtosis y el coeficiente de sesgo, el coeficiente de sesgo otorga una distribución cuantitativa referida a la distribución, si los datos presentan una distribución normal este coeficiente toma valores de cero, para este caso como el coeficiente de sesgo es mayor a cero indica una distribución asimétrica positiva. La curtosis o apuntalamiento cuantifica la compacidad de la distribución para el caso de la distribución normal toma el valor de cero, como se observa en el análisis este parámetro es mayor a cero por lo que la distribución es de carácter leptocúrtica (Koch, A., Cabrera, P., 2010).

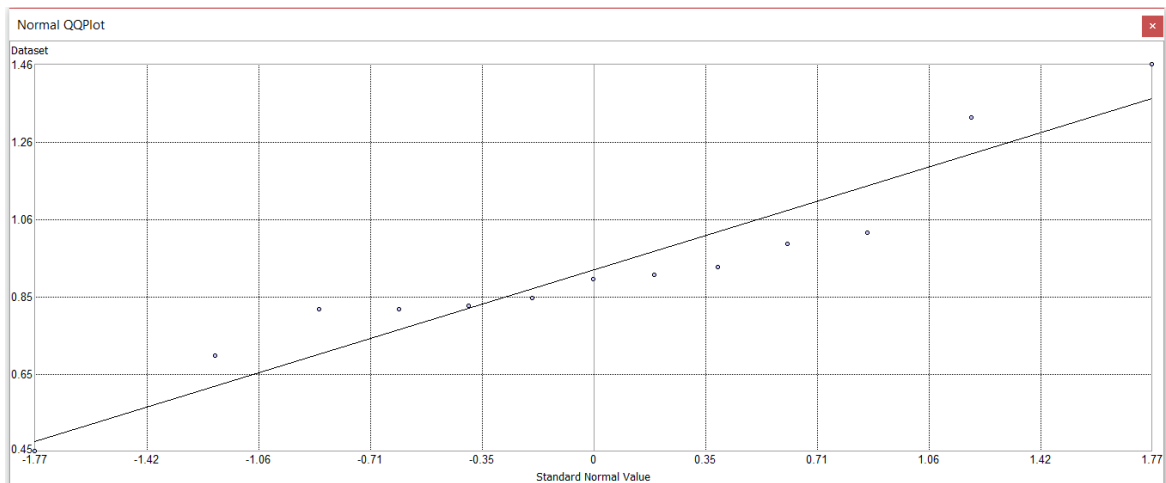
La distribución es normal cuando la media, mediana y la moda tienen los mismos valores, para los datos analizados la mediana fue ligeramente mayor a la media por lo que se tuvo una curva asimétrica a la derecha. La desviación estándar es un índice de la dispersión de los datos, mientras más alto es el valor de este parámetro más dispersos están los datos, para el análisis se obtuvo una desviación estándar de 0,25 lo que confirma que los datos analizados no siguen una distribución normal (Tellez, C., Lemus, D., 2014).

#### **4.4.5. GRÁFICO Q\_Qplot**

El autor Coro (2010) indica que debido a que la cantidad de datos es reducida, se comprobó la distribución de los datos mediante el diagrama Q-Q plot, el cual permitió comparar la distribución empírica de los datos analizados con la distribución normal a través de los cuantiles. En la Figura 4.12 se observa el diagrama Q-Q plot obtenido para la variable analizada fosfatos.



**FIGURA 4. 12 GRÁFICA Q-Qplot PARA LA VARIABLE FOSFATOS EN EL PERIODO ENERO 2016**



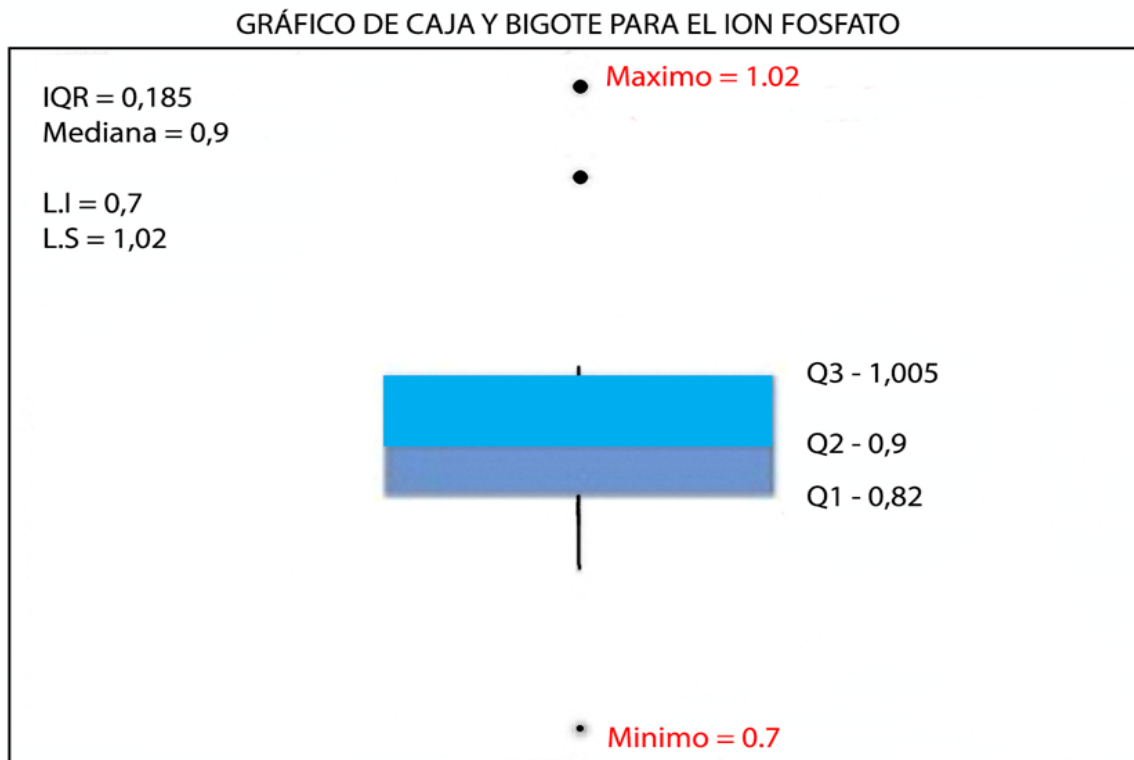
Se acepta la normalidad de los datos cuando la distribución de la variable se asemeja a la distribución normal es decir presenta un comportamiento rectilíneo, no obstante se debe tener en cuenta que siempre se tenderá a observar mayor variabilidad en los extremos (Castillo, S., Lozano, E. , 2007). Sin embargo, se observa en la Figura 4.10 que para la variable analizada se confirmó que no se tuvo una distribución normal en los datos, el comportamiento no fue rectilíneo y los cuantiles de la variable observada no se asemejaron a los de distribución normal. Como se observa la variable en estudio tuvo un comportamiento ligeramente en forma de “S” lo que confirma que se tiene una distribución leptocúrtica además de que un gráfico Q-Q plot en forma de "S" significa que la distribución tiene colas mayores o menores que la normal, esto es, que existen pocas o demasiadas observaciones en las colas de la distribución, como es el caso de la variable analizada (Bernal, 2013).

#### **4.4.6. GRÁFICO DE CAJA Y BIGOTE**

El diagrama de caja y bigote indicó la existencia de datos atípicos además de que proporcionó información sobre la simetría de los datos, su distribución y los valores de la mediana, el primer y tercer cuartil y el límite inferior y superior de la variable en estudio (Luceño, A., Gonzales, F., 2004).

En la Figura 4.13 se observa el diagrama de caja y bigotes para el fosfato en el muestreo de Enero de 2016.

**FIGURA 4. 13 GRÁFICA DE CAJA Y BIGOTE PARA LOS FOSFATOS EN EL PERIODO ENERO 2016**



En la figura anterior no se encontró ningún dato atípico ya que los datos están comprendidos entre el límite inferior (0,7) y superior (1,02), el diagrama de caja está formado por una caja no central que abarca los datos y representa el recorrido intercuartílico. La mediana o segundo cuartil es representada por la línea horizontal la misma que si se encuentra en el centro de la caja los datos analizados no tienen simetría, en el gráfico se observa que para la variable analizada los datos no tienen simetría ni una distribución normal (Llinas, H., Rojas, C., 2005).

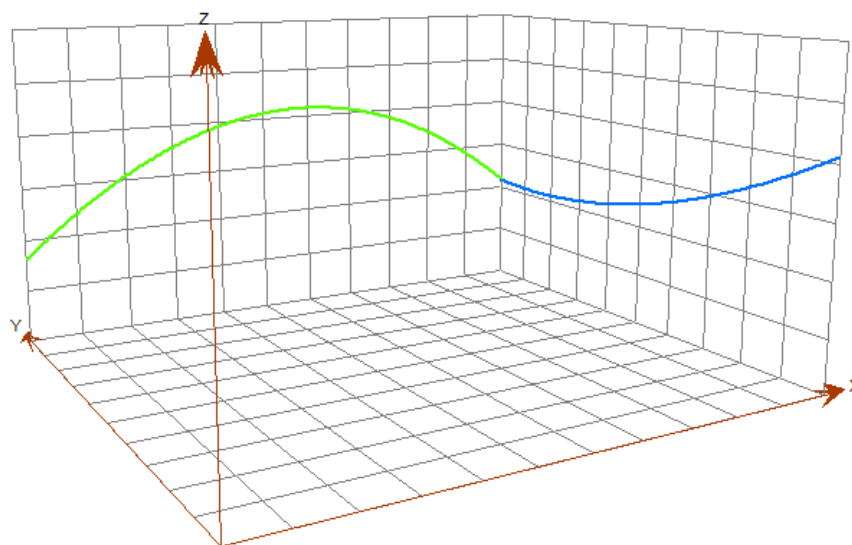
#### 4.4.7. ANÁLISIS DE TENDENCIA

El análisis de tendencia permite determinar si el fenómeno a estudiar tiene una tendencia espacial, es decir que existan diferencias dependientes de la dirección en los valores característicos de la variable investigada, es importante para el análisis geoestadístico, ya que el método de Kriging parte de supuesto de la estacionalidad de las variables por lo que para su análisis se requiere depurar las tendencias ya que las mismas pueden tener influencia externas a los valores de las variables (Koch, A., Cabrera, P., 2010) .

Es significativo analizar si los datos manifiestan tendencias direccionales que permitan establecer correlaciones en esas direcciones, y formular modelos de comportamiento, para que luego en el análisis estructural pueda ser removida dicha tendencia (Ceballos, 2011).

En la Figura 4.14 se observa la distribución tridimensional de los valores de fosfatos del muestreo en la época de lluvia en Enero de 2016 a través de las coordenadas X,Y.

**FIGURA 4. 14 REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL ANÁLISIS DE TENDENCIA PARA LOS FOSFATOS EN LA ÉPOCA DE LLUVIAS 2016**



En la Figura 4.14, en la dirección Norte-Sur (línea azul) se puede observar una ligera tendencia relativamente exponencial, mientras que para la dirección Este-Oeste (Línea verde) se observa una tendencia más pronunciada de forma polinómica cuadrática.

La tendencia del modelo será en la dirección en la que la tendencia sea más fuerte o predominante (Ceballos, 2011) , para el caso de la variable en estudio (fosfatos) se tendría una tendencia cuadrática alrededor de la dirección Este-Oeste, la misma que se debe considerar en el análisis exploratorio de datos para mejores resultados del modelo.

Los autores colocan como requisito la distribución normal de los datos para el análisis geoestadístico por el método de Kriging, sin embargo, en discusión se pone este hecho ya que en el año 2009 Hengl, propone que los requisitos para la modelación por el método de Kriging son la estacionalidad de los datos y la distribución normal y Diggle y Ribeiro (2007), discuten que a pesar de que la distribución normal es esencial en el método Kriging ya que el mismo es impulsado por medios Gaussianos, también pueden ser utilizados datos de distribución no normal, en el caso de optar por un método apropiado, finalmente Krivoruchko (2000), indica que a pesar de no ser un requisito para el método se obtiene mejores resultados en la predicción con datos de distribución normal, si los datos no tienen distribución normal la incertidumbre de predicción es grande y los resultados obtenidos no serían del todo confiables.

A manera de resumen del análisis exploratorio de datos la variable analizada no tiene una distribución normal, presenta una distribución sesgada a la derecha de carácter leptocúrtica sin datos atípicos y con una tendencia cuadrática en la dirección Este-Oeste.

De acuerdo a lo explicado en párrafos anteriores la distribución sesgada a la derecha de los datos si bien es cierto no es impedimento para el análisis geoestadístico por el método de Kriging, es necesario tener en cuenta que la incertidumbre de predicción por la carencia de distribución normal de los fosfatos fue grande, por otro lado, la estacionalidad de los datos si es un requisito para el uso del modelo de Kriging por lo cual se vio importante eliminar la tendencia de los datos en el análisis estructural.

Por lo tanto se empleó el método Kriging sustentándose en la metodología la cual indica que se debe asumir que los datos empleados tienen un comportamiento normal y tienen estacionalidad. Sin embargo este comportamiento no es el de las aguas, para determinar un comportamiento de las aguas a futuro se necesita continuar monitoreando el sistema hidrográfico y aplicar técnicas adecuadas para la predicción tomando en cuenta la que no son datos estacionales

#### **4.4.8. ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LA GEOESTADÍSTICA**

Se realizó el análisis estructural o estudio variográfico en donde únicamente se calculó y se ajustó los datos a un semivariograma teórico que caracterice la continuidad espacial de la variable estudiada. En general, el ajuste a modelos teóricos para la determinación de los parámetros del semivariograma se realiza de forma visual. En ocasiones se efectúan ajustes polinomiales por el método de los mínimos cuadrados u otras variantes, que aunque se encuentra el mejor ajuste, no siempre se verifica la condición de que el variograma obtenido sea siempre de tipo positivo, siendo insatisfactorio (Genton, 1999).

El método geoestadístico que se utilizó fue Kriging ordinario. Es un método empleado en variables relacionadas con la agricultura y da buenas predicciones cuando existe un muestreo intenso. Las principales características que hacen del kriging un método de estimación muy superior a los tradicionales, como el inverso ponderado de la distancia, la triangulación, etc., son las siguientes: mientras que los métodos tradicionales utilizan el concepto euclidiano de la distancia para el cálculo de los pesos que se aplicarán a cada dato muestral, el kriging considera tanto la distancia como la geometría de la localización de las muestras; mediante el kriging se minimiza la varianza del error esperado; los métodos geoestadísticos muestran una gran flexibilidad para la interpolación, puede estimar valores puntuales o en bloques, así como métodos para incorporar información secundaria que esté relacionada con la variable principal (Moral Garcia, 2004).

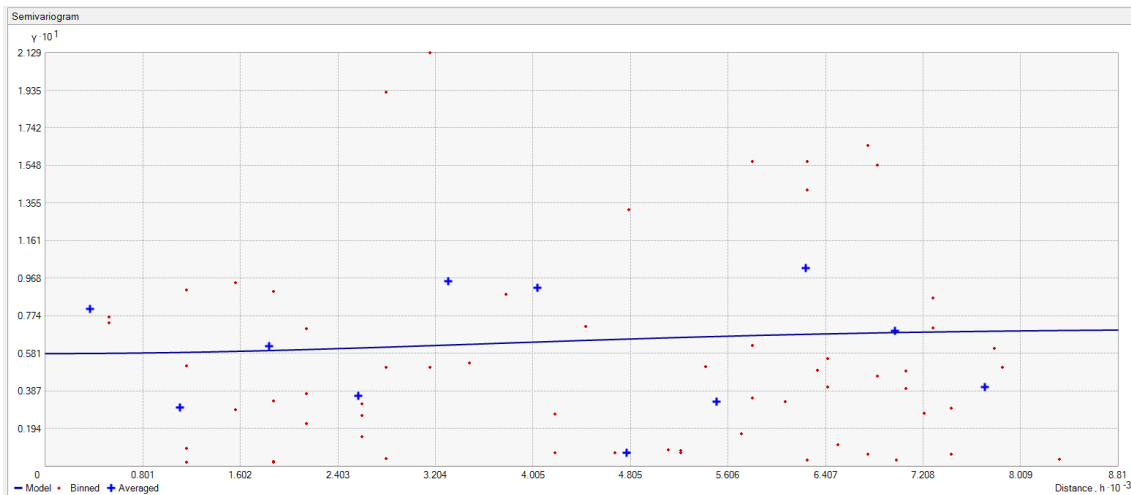
#### 4.4.9. SEMIVARIOGRAMA TEÓRICO

Según la tendencia que presentan los datos en el espacio, fue necesario cumplir con el principio de estacionalidad removiendo la tendencia cuadrática que se detectó en el análisis exploratorio. El ArcGIS presenta la opción de remover la tendencia de los datos haciendo que los resultados del modelo sean más confiables.

Fuenzalida (2015) señaló que se debe tomar como el semivariograma óptimo a aquel que presentó el menor valor de error medio cuadrático (RMS), la menor diferencia en validación cruzada, el error estándar más pequeño y próximo al RMS y con un valor de RMS estandarizado cercano a uno. Basado en lo antes mencionado, para la variable y el período en análisis se tomó el modelo de semivariograma gaussiano. En la Figura 4.15, se presenta el gráfico del semivariograma teórico para el conjunto de datos analizados.

Los datos que se analizaron son concentraciones de fosfatos en mg/L sin embargo en la figura se observa distancias en las cuales los datos se encontraron distribuidos en metros, el rango para el cual la meseta alcanzó su límite máximo es de 5.910 m, se dividió a dicho rango en 12 intervalos. El largo en los intervalos se eligió de tal forma que el número de pares en cada intervalo sea lo suficientemente grande para que el estimado del semivariograma sea relativamente estable. Se considera que entre 30 y 50 pares satisfacen este requerimiento (Diaz, 2002).

El efecto pepita ( $C_0$ ) del semivariograma tuvo un valor diferente de cero, es decir no parte del origen, esto se suele interpretar como un error en las mediciones o una ausencia de valores en distancias inferiores a las que se tomaron las muestras.

**FIGURA 4. 15 REPRESENTACIÓN GRÁFICA SEMIVARIOGRAMA**

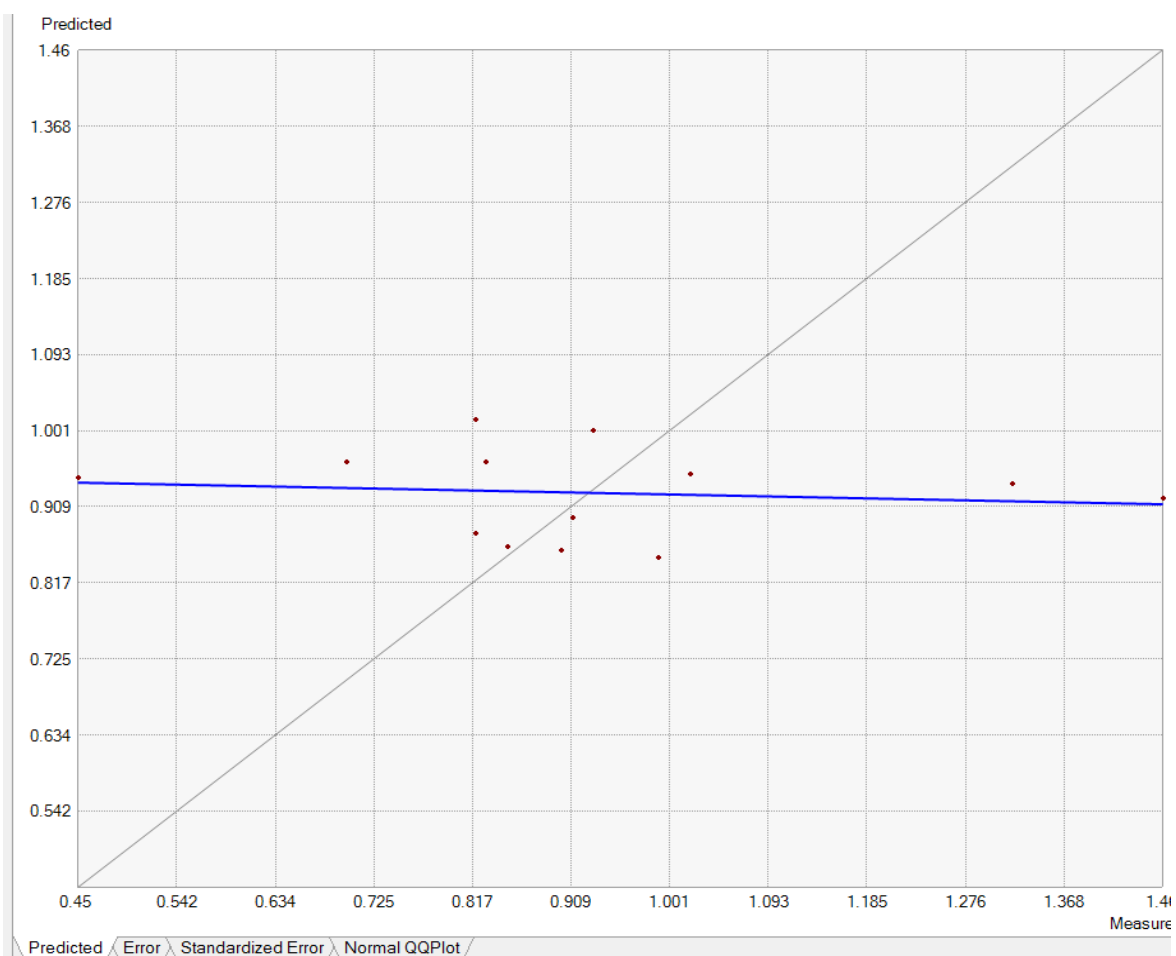
#### 4.5. VALIDACIÓN CRUZADA

La validación cruzada consiste en estimar cada punto a partir de los puntos vecinos, sin que el punto en cuestión intervenga en el proceso de estimación. Esta operación se repite para todos los puntos del conjunto de datos, obteniéndose finalmente una imagen de los errores de restitución o experimentales (Abarca F., 2001). Se compara los valores medidos con los predichos y los grafica en un sistema de coordenadas.

En la Figura 4.16, se muestra la relación existente entre los valores medidos y los que el método Kriging predijo a partir de los mismos.

Una buena correlación se tiene cuando la línea azul parte del origen y se aproxima a la dirección de la línea gris, es decir, su pendiente es lo más próxima a  $45^\circ$  (Piñeiro, G., Perelman, S., Guerschman, P., Paruelo, J., 2008). La pendiente que se obtuvo en el presente análisis fue de aproximadamente  $14^\circ$  y la línea no pasó por el origen, esto sumado al valor  $R^2$  de 0,14, indicó que por validación cruzada no existió una buena correlación entre los datos medidos y los de predicción.

**FIGURA 4. 16 VALIDACIÓN CRUZADA MÉTODO KRIGING PARA FOSFATOS EN LA ÉPOCA DE LLUVIAS 2016**



En el Cuadro 4.16 se observa la diferencia reflejada en la gráfica y el porcentaje de error diferencial.

**CUADRO 4. 16 VALIDACIÓN CRUZADA MÉTODO KRIGING ORDINARIO**

Punto	V. Medido	V. Predicción	Error	% Error
1	1,32	0,93	-0,38	29,5
2	0,82	1,01	0,19	23,2
3	0,93	1,00	0,07	7,5
4	1,46	0,91	-0,54	37,7
5	1,02	0,94	-0,07	7,8
6	0,91	0,89	-0,013	2,2
7	0,7	0,96	0,26	37,1



Punto	V. Medido	V. Predicción	Error	% Error
8	0,83	0,96	0,13	15,7
9	0,9	0,85	-0,04	5,6
10	0,99	0,84	-0,14	15,2
11	0,45	0,94	0,49	98,9
12	0,85	0,86	0,01	1,2
13	0,82	0,87	0,05	6,1

A pesar de que son pocos datos la cercanía geográfica entre ellos aproxima en muchos casos el valor de la predicción y disminuye el porcentaje de error, sin embargo, en los casos en los que los datos se encuentran alejados el error incrementa.

#### **4.6. MÉTODO KRIGING**

La interpolación de datos ofrece la ventaja de proyectar mapas o superficies continuas a partir de datos discretos; sin embargo, la utilización de una buena cantidad de puntos del área en estudio limita su utilización (Johnston K., 2001). Dependiendo del tipo de datos analizados, su costo y dificultad de obtención determinan que tan valioso es finalmente el uso de la interpolación. Otro aspecto a mencionar, es que la precisión en el mapa generado, a partir de las características de un suelo en particular, depende en gran medida de la estructura espacial de los datos, donde entre más fuerte la correlación espacial, mejor la calidad del mapeo (Kravchenko, 2003).

##### **4.6.1. PREDICCIÓN DEL MÉTODO KRIGING**

La parte final del análisis geoestadístico fue la predicción a partir de los datos existentes. En esta etapa se hicieron estimaciones de la variable en los puntos no muestreados, considerando la estructura de correlación espacial seleccionada e integrando la información obtenida de forma directa en los puntos muestreados, así como la conseguida indirectamente en forma de tendencias conocidas (Moral Garcia, 2004).

Debido a la cantidad de datos no fue posible obtener errores aceptables. La cantidad de puntos muestreados que se tenga disponibles y por ende las distancias entre ellos tienen una gran importancia en el análisis geoestadístico. Entre más cerca estén los puntos entre sí, se podrá obtener una mejor correlación y predicción de los puntos intermedios o no determinados. La cantidad de puntos requeridos depende de la variable a estudiar y del área que se esté tomando en cuenta en el estudio (Dick, J., Gerard, D.M., 2007).

En los estudios que se revisó respecto del uso de esta herramienta estadística se observó la importancia de contar por lo menos con 100 datos para el análisis de igual manera se observa en el estudio realizado por Eslami en el año 2013, en el cual se requirió de 114 datos para el acuífero de Tucson en un área de 0,057 ha. (Eslami H, 2013). El número de puntos para que funcione el modelo depende de la variable que se estudia y de su comportamiento en el espacio y tiempo, no existen un número exacto más bien depende de cada proyecto.

#### 4.6.2. ERRORES DE PREDICCIÓN

La forma de encontrar la confiabilidad de los resultados obtenidos en la predicción son las predicciones de error que el programa ayudó a determinar. Los de mayor importancia son el error medio cuadrático (RMS), el error cuadrático medio estandarizado (RMSS) y el error estándar.

En el Cuadro 4.17, se presenta los resultados de los errores de predicción obtenidos en el presente análisis en el programa ArcGIS:

**CUADRO 4. 17 ERRORES DE PREDICCIÓN MODELO KRIGING ORDINARIO PARA FOSFATOS EN LA ÉPOCA DE LLUVIAS 2016**

Número de datos	13
RMS	0,2548
RMSS	0,9835
Error estándar promedio	0,29

El Error Cuadrático Medio ( *Root Mean Square* RMS) en inglés, es un valor que ayuda a evaluar empleado para determinar la medida en la que el modelo no se

ajusta a la información, un valor pequeño de este parámetro, mientras más se acerque a cero, indica una variación mínima y por lo tanto indica un buen estimador (Chai, 2014).

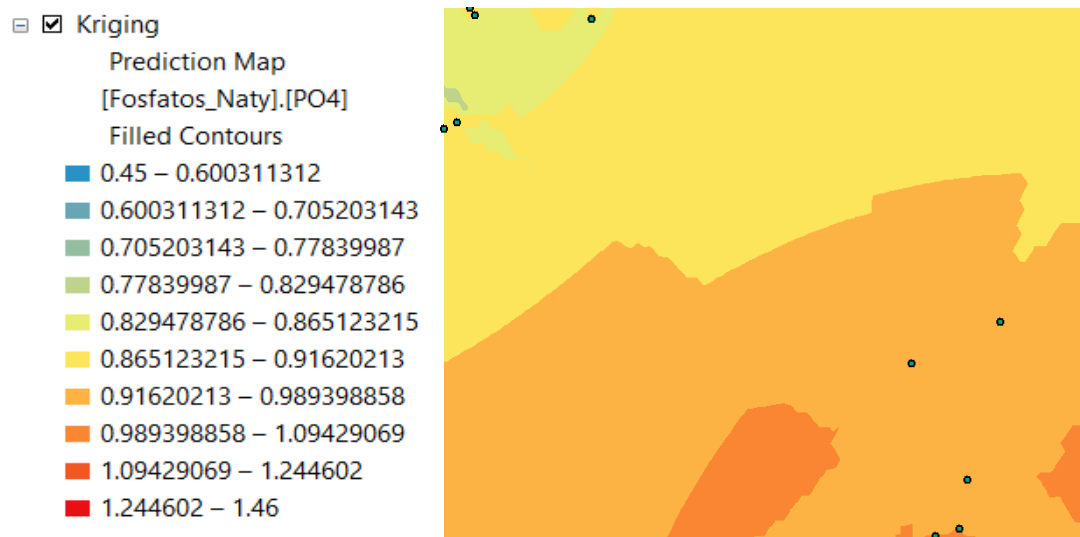
En este caso que el RMS es más grande que el error estándar, el modelo representó la variabilidad de modo demasiado inexacto. Por otro lado al tener un RMSS menor a uno, no se subestima la variabilidad (Koch, A., Cabrera, P., 2010).

#### **4.6.3. MAPA DE PREDICCIÓN**

Una vez que se completó el análisis empleando el método Kriging se elaboró un mapa en donde se puede conocer el valor de la variable estudiada, en este caso fosfatos en la época de lluvias intensas, en cualquier punto dentro del conjunto de datos con los que se trabajó inicialmente. Además de este mapa, el programa elaboró un mapa de errores estándar, en el que se puede saber el margen de error que existe en cada punto que se desea predecir. Los dos mapas en conjunto deben ser analizados para poder dictaminar con certeza si el valor predicho está dentro de un rango de confiabilidad.

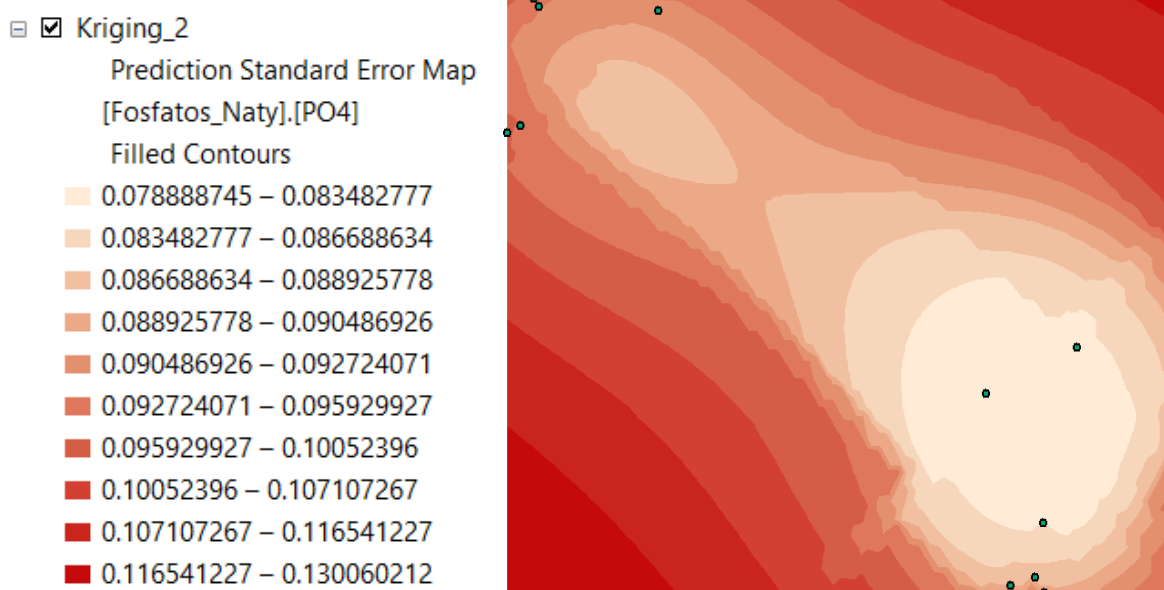
En las Figuras 4.17 y 4.18, se muestran los mapas de predicción y error estándar como resultado de la aplicación del método probabilístico en la presente investigación.

**FIGURA 4. 17 MAPA DE PREDICCIÓN EMPLEANDO KRIGING PARA FOSFATOS EN LA ÉPOCA DE LLUVIAS INTENSAS 2016.**



A continuación se observa el mapa de la predicción del error obtenido en el análisis geoestadístico.

**FIGURA 4. 18 MAPA DE ERRORES DE PREDICCIÓN MÉTODO KRIGING ORDINARIO PARA FOSFATOS EN ÉPOCA DE LLUVIAS INTENSAS**



La confiabilidad de un modelo geoestadístico se puede determinar en porcentaje como 100 restado el mayor error estándar obtenido en el mapa de predicción de error o el error estándar promedio obtenido. Se considera un modelo con buena confiabilidad cuando esta supera el 90% (Menéndez, 2012). Realizando esta operación se tiene que para este análisis de datos únicamente se cuenta con un 71% de confiabilidad considerando el error estándar promedio.

Los resultados de predicción con el modelo que más se ajustó tuvieron un porcentaje de confiabilidad promedio de 71% debido principalmente a la baja cantidad de datos, si se lo compara con el nivel de confiabilidad de acuerdo a Méndez (2012) este modelo no fue confiable, por lo que existe la necesidad de apretar los datos en la zona para obtener una mejor correlación entre valores de datos y por ende una mejor predicción, sin embargo, la confianza de los resultados del modelo se lo debe analizar también de acuerdo al rango de variación de la variable estudiada para aceptar o rechazar los resultados. Es importante en definitiva que se realice un análisis empleando una densidad alta de datos por lo menos 100, en las épocas posteriores, se realizó un análisis empleando también los datos del año 2014 que son 71 la confiabilidad del análisis fue mejor (89%) pero la predicción de los datos resultó ser más inexacta, los datos que se obtuvieron en 2016 para fosfatos son mucho más altos que lo que predice el ArcGIS partiendo de los datos anteriores.

Es de gran ayuda contar con estas predicciones, sin embargo, debe existir un conocimiento de por medio para decidir que valores serían confiables y las razones.

#### **4.7. ANÁLISIS DETERMINÍSTICO**

El método IDW es similar al Kriging ordinario, ya que da más peso a los valores cercanos a un punto, pero posee una menor complejidad del cálculo. El IDW utiliza un algoritmo simple basado en distancias (Johnston K., 2001). Varios autores han comparado el interpolador Kriging con el IDW en condiciones no tropicales (Gotway et al. 1996, Kravchenko y Bullock 1999, Mueller et al. 2001, Schloeder et al. 2001, Kravchenko 2003, Mueller et al. 2004). Ambos modelos, Kriging ordinario e IDW,

asumen que las predicciones son una combinación lineal de los datos (Gotway *et al.* 1996, Schloeder *et al.*, 2001).

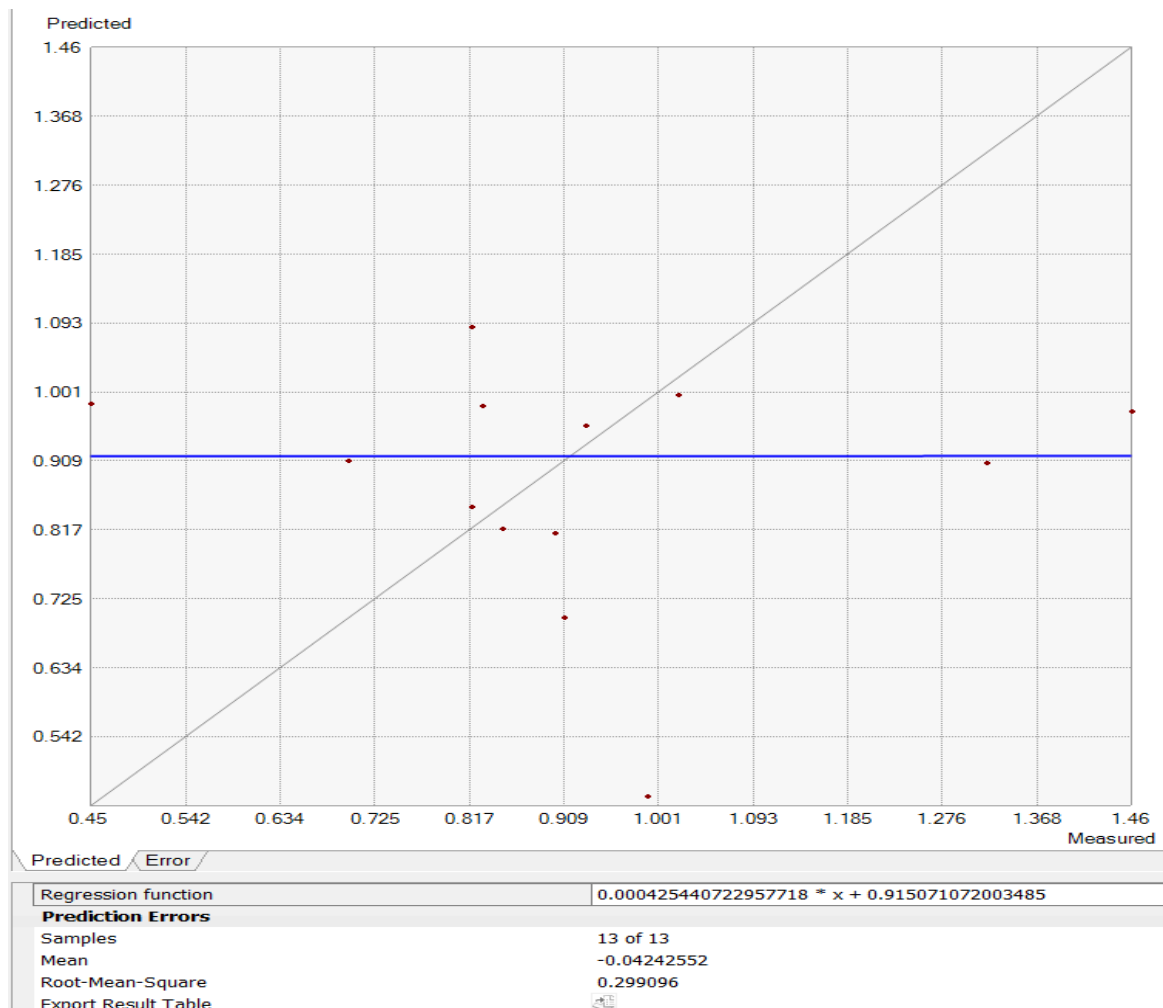
Se conoce que por el tipo de variables de tipo aleatorio que se manejó en el presente proyecto, un método determinístico no es lo más adecuado para realizar una interpolación, ya que dichos métodos son utilizados para variables fijas. Los modelos determinísticos son aquellos donde se supone que los datos se conocen con certeza, es decir, se supone que cuando el modelo sea analizado se tiene disponible toda la información necesaria para la toma de decisiones (Hernández, 2011).

Un modelo determinístico como el IDW resultó en valores más cercanos a la realidad que el método Kriging esto ocurre cuando el conjunto de datos no es muy grande y los modelos geoestadísticos no pueden dar respuestas confiables.

El IDW se recomienda por los autores para bases de datos pequeñas, en donde los parámetros del variograma no son conocidos, también, cuando la distancia de muestreo es muy grande e incluso para cuando la distancia de muestreo es mayor al rango de la correlación espacial. Con relación a esto es importante mencionar que la precisión de las estimaciones es influenciada por la varianza aleatoria, la estructura de variación, y por la intensidad de muestreo (Johnston K., 2001).

En la Figura 4.19 se indica el resultado de la validación cruzada empleando el método IDW

**FIGURA 4. 19 VALIDACIÓN CRUZADA DEL MÉTODO IDW PARA FOSFATOS EN LA ÉPOCA DE LLUVIAS**



Se observó que la línea no pasó por el origen pero la pendiente resultante es de aproximadamente  $30^\circ$  y el valor de  $R^2$  llega a 0,44, estos valores indicaron a priori que existe una mejor correlación y que los resultados por este método son más aceptables en comparación con el método Kriging.

En el Cuadro 4.9, se muestra también la diferencia reflejada en la gráfica y el porcentaje de error diferencial, que como se pudo comparar es menor que el método geoestadístico.

**CUADRO 4. 18 VALIDACIÓN CRUZADA MÉTODO IDW PARA LLUVIAS 2016**

<b>Punto</b>	<b>V. Medidos</b>	<b>V. Interpolados</b>	<b>Error</b>	<b>% Error</b>
<b>1</b>	1,32	0,9065	-0,41	31,3
<b>2</b>	0,82	1,0875	0,26	32,6
<b>3</b>	0,93	0,9565	0,02	2,8
<b>4</b>	1,46	0,9759	-0,48	33,2
<b>5</b>	1,02	0,9979	-0,022	2,2
<b>6</b>	0,91	0,7012	-0,20	22,9
<b>7</b>	0,7	0,9102	0,21	30,0
<b>8</b>	0,83	0,9824	0,15	18,4
<b>9</b>	0,9	0,8131	-0,08	9,7
<b>10</b>	0,99	0,4629	-0,52	53,2
<b>11</b>	0,45	0,9855	0,53	99,0
<b>12</b>	0,85	0,8193	-0,03	3,6
<b>13</b>	0,82	0,8492	0,02	3,6

Al tratarse de un modelo matemático y no probabilístico, en el IDW el programa solo reporta el valor de RMS que como se había mencionado debe ser lo más cercano a cero para validar los resultados.

En el análisis de la variable para 13 datos se obtuvo un valor de RMS de 0,29, que es mucho menor al obtenido en el análisis geoestadístico. También este valor reflejó que el modelo determinístico es el que más se ajustó para el conjunto de datos en estudio.

Para estudios similares donde las variables estudiadas son parámetros de calidad de agua en Taghizadeh Mehrjardi et al. (2008) y en Eslami et al. (2013) se obtuvo mejores resultados en la predicción usando los métodos de interpolación de geoestadística, pero se debe enfatizar que en estos estudios se contó con una buena base de datos (73 puntos de muestreo), por otro lado, en Adebayo et al. (2013) que se contaba con 27 datos, se utilizó el método de IDW corroborando así que para una escasa cantidad de datos IDW es más idóneo ya que no requiere de

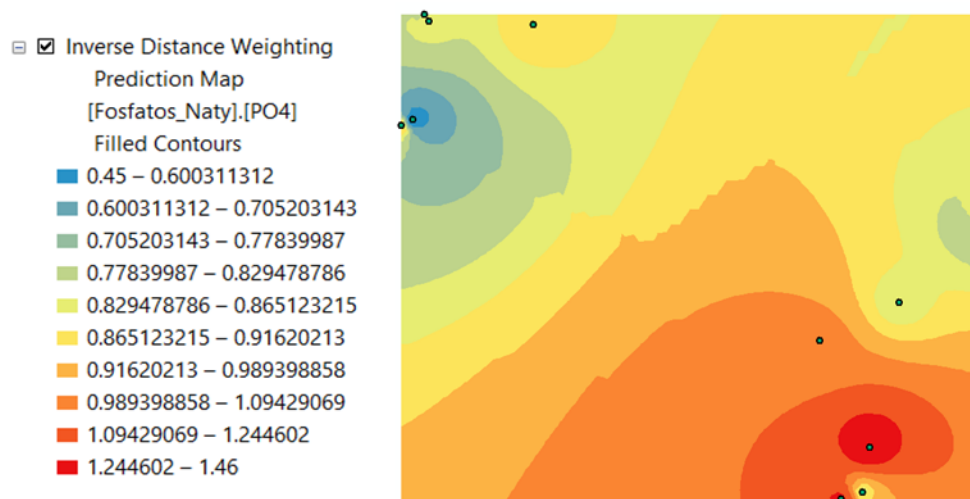


la realización de variogramas y tiene una menor complejidad de cálculo que el método de Kriging ordinario (Villatoro et al., 2008).

El resultado de la interpolación realizada por el ArcGIS mediante el método IDW, es el que se muestra en la Figura 4.20 . De este mapa se puede conocer el valor de la variable en cualquier punto dentro de los límites del conjunto de datos y en el tiempo que se realizó el muestreo. Por lo tanto, el IDW es una herramienta útil para indicar las condiciones de la zona de estudio en el momento del muestreo, además no se pretendió realizar una predicción en el tiempo con esta técnica

En teoría el valor leído en el mapa es fijo, es decir no tiene ningún error ya que el método a diferencia de Kriging no realiza predicciones sino una interpolación. Esto sería verdad en el caso de que las variables también fuesen fijas, sin embargo, se conoce que las variables en estudio son variables en el tiempo, entonces para este caso el mapa de resultados son reales en el espacio y tiempo monitoreado, pero la interpolación de los datos por lo analizado anteriormente es más exacto que en el modelo geoestadístico.

**FIGURA 4. 20 MAPA DE PREDICCIÓN DE IDW PARA FOSFATOS EN LA ÉPOCA DE LLUVIAS**



#### **4.8. METAMORFOSIS DE LAS AGUAS**

La metamorfosis de las aguas se refiere a la descripción del cambio que las aguas sufren al verse expuestas al fenómeno de la evaporación, el análisis de esta evolución de las aguas tiene tres enfoques.

El modelo de evolución de la composición química de aguas por evaporación fue establecido por Garrels y Mackenzie (1967), Hardie y Eugster (1970), Eugster y Hardie (1978), Risacher y Alonso (1996). Cuando el agua se evapora los componentes disueltos se concentran y precipitan una secuencia de minerales en el orden de las solubilidades crecientes.

El primer enfoque se refiere a la precipitación de la calcita ( $\text{CaCO}_3$ ), debido a la baja solubilidad de este compuesto es el primero en depositarse. Después de la calcita precipitan silicatos o carbonatos de Magnesio, sales también muy poco solubles. En la vía alcalina el aumento del pH induce muy a menudo la formación de silicatos de Magnesio (Wollast et al., 1968; Badaut y Risacher, 1983; Jones, 1986 y Guven, 1988). En la vía neutra el siguiente mineral que casi siempre se precipita es el yeso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ).

En el Cuadro 4. 10 se presenta los resultados de los análisis físico-químicos de las aguas analizadas para la metamorfosis tanto para la época de estiaje como para la época de lluvias intensas.

**CUADRO 4. 19 RESULTADO DE ANÁLISIS FÍSICO- QUÍMICOS DE LAS AGUAS ANALIZADAS PARA METAMORFOSIS**

**a) ÉPOCA DE LLUVIAS INTENSAS**

Temperatura	pH	CE	LDO	Prdox	DQO	SST	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Fe	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	B	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
°C		μS cm <sup>-1</sup>	mg/L	mV	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
27	6,94	234	3,87	237,6	1	6	9,08	2,85	0,09	10,97	4,13	0,15	0,0	112	0,82	3,23	0,138	32
55	7,8	296	2,5	245	0	10	10,1	3,01	0,1	11,3	5,01	0,1	0,0	197	0,98	3,48	0,213	35
100	8,88	300	0,1	243	0	13	10,8	4,1	0,12	11,9	5,32	0,1	12,01	210	1,21	3,98	0,298	37

**b) ÉPOCA DE ESTIAJE**

Temperatura	pH	CE	LDO	Prdox	DQO	SST	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Fe	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	B	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
°C		μS cm <sup>-1</sup>	mg/L	mV	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
28	9,96	304	6,57	163,8	0	10	10,31	3,47	1,47	39,05	4,92	0	13,000	146	0,82	5,9	1,4	32
a 55	11	389	3,5	171,1	0	11	10,52	4,01	1,54	39,78	5	0	17	150	1	6,1	1,48	34,6
a100	12	400	2	182,4	0	11,3	11,12	4,03	1,98	41	5,03	0	18,34	151,2	1,45	7,01	1,51	38,98

#### **4.9. PROPUESTA DE UN PLAN DE MANEJO DE LA EUTROFIZACIÓN**

La eutrofización afecta de manera directa a embalses o represas puesto que al existir el estancamiento del agua el caudal disminuye y que junto a la aportación de nutrientes provenientes de diversas fuentes se convierten en aguas con un alto grado de actividad biológica favoreciendo proceso de colonización. (Sierra, 2010). Varios embalses se ven afectados por este fenómeno, en el caso de la represa Poza Honda ubicado en el cantón Santa Ana, se ve afectada por la gran presencia de sedimentos, convirtiéndose en el ambiente perfecto para la proliferación de algas y lechuguines. Por lo tanto es importante la aplicación de medidas preventivas y correctivas tomando en consideración el estado trófico de represa, lagos y lagunas, así como también el origen de descargas y presencia de nutrientes para posteriormente considerar costos y beneficios que implica un adecuado plan de manejo.

El Fósforo se encuentra de manera natural en las formaciones rocosas, presentes en los ecosistemas que combinado con el Oxígeno se encuentra en forma de fosfatos. Las rocas pasan por procesos erosivos y al entrar en contacto con la lluvia esta transporta los fosfatos al agua donde son aprovechados por microorganismos, plantas y animales, mientras que en los ecosistemas acuáticos es aprovechado por peces plantas y organismos autótrofos, o muchas veces quedan simplemente en los sedimentos de las aguas.

En las zonas en las que existe actividades de ganadería y agricultura como lo es Chone, el suelo erosionado en presencia del aire y la lluvia es arrastrado a ríos, lagos y mares donde se depositan cantidades muy grandes de Fósforo estimulando el crecimiento de algas, lirios de agua y bacterias (Bayers, 2003).

Si aguas eutrofizadas son utilizadas para uso o consumo humano acarrearían graves afectaciones para quien las utilice, se sabe por la Organización Mundial de la salud en 2006 que debe siempre cumplirse con las guías de calidad de agua potable para evitar problemas de salud pública. En vista de este hecho se han

desarrollado científicamente varios métodos para el tratamiento de aguas contaminadas.

En la mayoría de estudios se documenta que las plantas de tratamiento que usan procesos físico-químicos pueden remover el Fósforo del agua solo si se encuentra sobre los 10 mg/L y al terminar con el tratamiento la planta genera gran cantidad de desechos llamados lodos, éstos al estar contaminados a su vez requiere de otro tratamiento todo esto resulta bastante costoso y largo de llevar a cabo en términos de tiempo, es decir es un método ineficiente (Ramirez L. &, 2014).

Los resultados obtenidos en los modelos anteriores demuestran que en la actualidad algunos parámetros no cumplen con la norma ambiental para riego, preservación de la vida acuática y silvestre y demás usos ambientales (MAE, 2015). Dichos parámetros principalmente tienen que ver con la cantidad de Fósforo presente en el agua del sistema hidrográfico del río Grande, parámetros que son los críticos y por ende condicionan su uso en todas las actividades.

El objetivo del plan de manejo para la presente investigación se limitó a proponer ciertas recomendaciones en beneficio de la calidad futura del agua del sistema hidrográfico, así como también del control de dicha calidad mediante aparatos de medición de caudales que a futuro permitan realizar un muestreo de campo conociendo los caudales reales al momento del muestreo, factor que es importante en un modelo de calidad.

Se sugiere emplear los suelos de la zona para la implementación de Tecnosoles diseñados de manera especial para la captura de Fósforo de las aguas debido a su estado hipertrófico.

Es una nueva tecnología creada por un grupo de científicos de la Universidad de Santiago de Compostela –España, estos estudios encabezados por el Dr. Felipe Macías y el edafólogo Wim Sombroekum sobre las “Terras Petras” que corresponden a los suelos que han sido creados de manera antrópica por las actividades humanas seguramente de forma inconsciente pero que tiene propiedades extraordinarias de productividad y de fertilidad, la idea de este edafólogo fue reproducir estas tierras a voluntad para mejorar los cultivos (Macias, 2015).

Tecnosol es una palabra compuesta que significa tecnología del suelo. Consiste en la generación de nuevos suelos aplicando conocimientos amplios sobre edafología

o ciencia del suelo, además de la ciogeoquímica las cuales se complementan con el uso de la tecnología (Caballero, 2011). En cuanto al diseño de los tecnosoles es vital contar con la información previa de los mecanismos de estabilización de los suelos naturales para imitarlos de la forma más cercana posible.

Para que un suelo sea llamado Tecnosol debe tener un porcentaje de materiales aditivos mayor al 20 o 30% además de una geomembrana construida o roca dura. Los tecnosoles se elaboran creando mezclas diversas tratando de emular las condiciones naturales de los suelos y que estos cumplan por su puesto con las mismas funciones, los residuos que se utilizan para su elaboración son de dos tipos: los fermentables que aportan la materia orgánica además de la mayoría de nutrientes y los inorgánicos, que se los conoce como “acondicionadores”, estos estabilizan los compuestos orgánicos y ayudan a que existan las condiciones deseadas para la mezcla (Arbestian, 2009).

Los tecnosoles procedentes de residuos son una mejor elección que otras alternativas de manejo o gestión de residuos, debido a que son mucho más eficientes que procesos como: el vertido incontrolado, vertido controlado, más eficiente que otras a otras alternativas tradicionales de gestión de residuos como: vertido incontrolado, vertido controlado, procesos de inactivación o incineración, valorización, recuperación de materiales y el reciclaje. Además de acuerdo al autor Macías en 2009 existen beneficios adicionales en la utilización de Tecnosoles como: suministrar un material que ayude en la recuperación de vertederos, jardines, zonas afectadas por obras urbanas, zonas industriales, lugares con una degradación ambiental, además de disminuir en grandes cantidades las emisiones de gases de efecto invernadero que se producen en la gestión de residuos principalmente el CO<sub>2</sub>, el CH<sub>4</sub> y el Noxa, al reemplazar los métodos de incineración, vertido y compostaje y por último la valorización de residuos y las garantías sanitarias de la utilización de los mismos.

## CAPÍTULO 5

### CONCLUSIONES

- Se determinó que las aguas se encuentran en un estado hipertrófico debidos a las altas concentraciones de nutrientes que se evidenció después del análisis de laboratorio de las muestras recolectadas durante las épocas de lluvias intensas y durante la época de estiaje en base a los estudios de los años 2013, 2014 y 2015, los valores para el fosfato estuvieron comprendidos entre 0,4 a 1,75 mg/L a pesar de que los demás parámetros como pH, Tº, Eh, CE, SO4 y NO3 se encontraron dentro de los límites permisibles
- Los afluentes que presentaron alta concentración de Fósforo fueron: río Cañitas, río Platanales, estero El aguacate y estero el Regreso, lo que puede ser producto de las inundaciones provocadas en la zona que cubrieron la vegetación, lo cual provoca la descomposición de dicho materia vegetal, aportando al agua altas concentraciones de nutrientes y al embalsar el agua la velocidad de flujo se vuelve prácticamente nula limitando grandemente la capacidad de autodepuración del río e incrementando la cantidad de sedimentos ricos en Fósforo y Nitrógeno nutrientes precursores de la eutrofización.
- Del análisis de composición inorgánica de las aguas del sistema hidrográfico río Grande se concluye que son agua de reciente infiltración debido a sus bajas concentraciones de iones el pH es de tipo neutro, sin embargo, el agua es carente de Boro y excedente en fosfatos y pueden provocar daños en los cultivos por riego con dichas aguas.
- Del análisis estadístico, la presencia de lluvias tiene un efecto directamente proporcional en el contenido de fosfatos encontrados en las aguas del río Grande en la época de lluvia, las precipitaciones favorecen la erosión y lavado

del suelo e incrementa el volumen de las aguas y la dilución de los componentes por lo cual se halló concentraciones de Fósforo en las aguas más bajas que en la época de estiaje

- Del análisis multitemporal entre los años 2014 y 2016 de los componentes inorgánicos se concluye que las condiciones no se han mantenido, por el contrario la calidad del agua se ha ido deteriorando poco a poco y las concentraciones de los nutrientes críticos han permitido la alta proliferación de jacintos de agua a lo largo de todo el sistema hidrográfico.
- El análisis de componentes principales es fundamental para conocer que iones son los más representativos dentro de toda la cuenca. De este modo se redujo el tiempo de análisis en parámetros que no resultaron representativos dentro del sistema hidrográfico del río Grande
- En cuanto al análisis del comportamiento de los fosfatos se muestran un incremento progresivo de las concentraciones a través del tiempo lo cual indica que como se afirmó en los estudios previos las aguas serían objeto de la eutrofización y por lo tanto la vida acuática se vería afectada de manera drástica y los pobladores perderían su fuente de alimento, riego y transporte es decir el sistema hidrográfico del río Grande, en este caso los efectos de la eutrofización son prácticamente irreversibles.
- Los valores de las componentes principales indican que las aguas cambian de tipología de acuerdo a la época y es decir que es probable que también cambie posteriormente de acuerdo a la tasa de evaporación que tenga en la presa.



## CAPITULO 6

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Abad, O. (2014). *Estimación de precipitación espacial mediante correlación con variables secundarias y la ayuda de tecnologías de información geográfica. Proyecto de graduación previo a la obtención del Grado de Magister en Geomática . Universidad de Cuenca, Facultad de Ingeniería.*
2. Adebayo, O., Abimbola, Y., Kolawole, O., Taiwo, O. (2013). *Mapping of river water quality using inverse Distance weighted interpolation in Ogun-Osun river basin, Nigeria . Landscape & Environment 7 (2) , 48-62.*
3. Aguilera, C., Martinez, E., R . (1996). *Relaciones agua-suelo-planta-atmosférica . Mexico: Universidad Autonoma de Chapingo .*
4. Albert, L. . (2004). *Toxicología ambiental. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez . Mexico.*
5. Almeida, L. (2014). *“Una revisión de la evaluación de la calidad de agua de los ríos de la provincia de Imbabura,”. Universidad Técnica Particular de Loja.*
6. Alvear, C., Carpio, J., Silva, M. (2006). *Modelación Hidrológica para el pronóstico de caudales mediante la aplicación del Paquete HEC - HMS en la Cuenca del Rio Paute. Tesis Facultad de Ingeniería Civil. ESPE. Sede Sangolquí.*
  - A. Ambica ,K. Ilayaraja. (2012). *Assessment Of Ground Water Quality Using Water Quality Index(WQI)-Near INDUSTRIAL AREA, North Chennai. International Journal of Computer & Organization Trends – Volume 2 Issue 4 Number 1 , 44-54.*
7. Andrew N. Sharpley, P. J. (2013). *Phosphorus Mitigation to Control River Eutrophication: Murky Waters, Inconvenient Truths, and “Postnormal” Science. Journal of Environmental Quality , 295-305.*
8. APHA. (1995). *Normativa Ambiental.*
9. ArcGIS. (2010).

10. *Asociación Nacional de Industriales. (1997). Manual de Caracterización de Aguas Residuales. Colombia: ANDI.*
  - A. B. L. Antonio. (2014). "Una revisión de la evaluación de la calidad de agua de los ríos de la provincia de Imbabura,". *Universidad Técnica Particular de Loja* .
11. *B. Nas. (2009). Geostatistical Approach to Assessment of Spatial Distribution of Groundwater Quality . Polish J. of Environ. Stud. Vol. 18, No. 6 , 1073-1082.*
12. *Barrenechea, M. (2004). Aspectos fisicoquímicos de la calidad del agua. From*  
*<http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manuall/tomol/uno.pdf>*
13. *Barrios. (2014). Nutrientes Escenciales para cultivos.*
14. *Bernal, E. (2013). Bioestadística Básica para Investigadores con SPSS. Bubok Publishing S.L.*
15. *Bladé, E., Sánchez, M., Sánchez, H., Niñerola, D., Gómez, M. (2009). Modelación numérica en ríos en regimen permanente y variable, una visión a partir de HEC-RAS. Barcelona : Universidad Politécnica de Catalunya, SL.*
16. *Burns, R. A. (2003). Fundamentos de Química. España: Pearson Educación.*
17. *Cabrera, W. (2002). Propuesta de manejo de la subcuenca del río Ambi, provincia de Imbabura. Tesis de ingeniería Agroforestal. Universidad Tecnológica Equinoccial .*
18. *Calidad Ambiental. (2013). Estudio de Impacto Ambiental y Plan de Manejo Ambiental del Proyecto de Propósito Múltiple Chone . Quito: Secretaría Nacional del Agua.*
19. *Camacho, A., M.Giles, A.Ortegón, M.Palao, B.Serrano y O.Velázquez. (2009). Técnicas para el Análisis Microbiológico de Alimentos. 2da Edición . Facultad de Química, UNAM. México. Mexico.*
20. *Carmona, F. (2014). Un ejemplo de ACP paso a paso.*
21. *Carranza, Carlos., Lancho, O., Miranda, D., Chaves. (2009). Análisis del crecimiento de lechuga cultivada en un suelo salino de la Sabana de Bogotá.*

22. Carrera Villacrés, D. G.-G.-J.-C. (2015). *Processes controlling water chemistry and eutrophication in the basin of Río Grande, Chone, Ecuador. Ciencias Químicas y Matemáticas Handbook T-I* , pp. 25-36.
23. Carrera, D. (2011). *Salinidad en suelos y aguas superficiales y subterráneas de la cuenca evaporítica de río Verde Matehualaca, San Luis Potosí. Tesis presentada como requisito parcial para obtener el grado de Doctor en ciencias . México .*
24. Carrera, D., Guevara, P., Tamayo, L., Balarezo, A., Narvaez, C., Morocho, D. (2016). *Relleno de series anuales de datos meteorológicos mediante métodos estadísticos en la zona costera e interandina del Ecuador, y cálculo de la precipitación media . IDESIA CHILE .*
25. Carrera, D., Guevara, P., Tamayo, L., Guallichico, D. (2015). *Análisis multivariado de las aguas de la subcuenca del río Ambi en época de estiaje y su relación con la calidad desde el punto de vista agrícola. Universidad De Las Fuerzas Armadas -ESPE .*
26. Carrillo, M., Urgiles, P. (2016). *Determinación del índice de calidad de agua ICA-NSF de los ríos Mazar y Pindilig. Tesis de grado previo a la obtención de título de ingeniero ambiental, Universidad de Cuenca . Cuenca, Ecuador.*
27. Carvacho, L. (2010). *Geoprocesos utilizando Sistemas de Información Geográfica. Taller regional sobre Cartografía censal con miras a la ronda de censos 2010 en Latinoamérica .*
28. Casado, J., Calvo, D., Monterde, E., Alfonso, p. (2013). *Determinación del origen de los sulfatos disueltos en las aguas de la cuenca del Llobregat en el Bages. Libro de actas del III Congreso Internacional de Geología y Minería Ambiental para el Ordenamiento Territorial y Desarrollo Cardona , 287-296.*
29. Castillo, S., Lozano, E. . (2007). *Q-Q Plot Normal. Los puntos de posición gráfica. Iniciación a la investigación, revista electrónica Universidad de Jaén.*
30. Castillo, S., Lozano, E. (2007). *Q-Q Plot Normal. Los puntos de posición gráfica. Iniciación a la investigación , 2-9.*
31. Castro, E., Carrasco, L. (2009). *Utilización de modelos matemáticos para la formulación de una propuesta de gestión ambiental en la zona noroccidental*

- del río Cali. Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Ciencias Ambientales .
32. Catalán L, J.G., Olver, B., Alonso, J.J. (1971). Estudio hidrológico del río Llobregat. Litocotor S.A-Verdi 65 .
  33. Ceballos, D. (2011). Taller de geoestadística. From <http://www.aguaysig.com/2011/03/geoestatistical-analyst-analisis.html>
  34. Cereceda, R. (2008). Propuesta de un método para la construcción de curvas IDF en estaciones pluviométricas en Chile central . Universidad de Talca, Facultad de Ciencias Forestales .
  35. Chang, R. (2007). Química. España: McGraw Hill.
  36. Chow, V., Maidment, D., Mays, L. (1994). Hidrología Aplicada. Mc Graw Hill.
  37. Cisterna, P., Peña, D. (2013). Determinación de la relación DQO/DBO5 en aguas residuales de comunas con población menor a 25.000 habitantes en la VIII región. Chiile .
  38. Claudia Ledesma, M. B. (2013). Determinación de indicadores de eutrofización en el embalse río Tercero, Córdoba (Argentina). Revista Ciência Agronômica, Artigo Científico , 419-425.
  39. CONELEC. (2005).
  40. Coro, Y. (2010). Análisis exploratorio de datos espaciales. From Universidad Autónoma de Madrid: [https://www.uam.es/personal\\_pdi/economicas/coro/courses/Geoespacial/Sesion3\\_AEDE\\_Basico.pdf](https://www.uam.es/personal_pdi/economicas/coro/courses/Geoespacial/Sesion3_AEDE_Basico.pdf)
  41. Corrales, D. M. (2011). Impactos Ambientales de las Represas.
  42. Cuellar, E. (2013). Variaciones iónicas en las aguas residuales del valle de Mezquital. Tesis de maestría en ciencias, Texcoco . Moontecillo, Edo. de México.
  43. CYTED. (2001). Agua potable para comunidades rurales, reuso y tratamientos avanzados de aguas residuales domésticas. México D.F.
  44. Daziano, C. (2011). Hidroquímica y aptitud de aguas superficiales Alta Gracia -Córdoba Argentina. Córdoba , Argentina .

45. De las Cuevas, C. (1999). *Aplicación del análisis geoestadístico al diseño de programas de muestreo en formaciones salinas. Acta Geológica Hispana* , 67-76.
46. De Meers, M. (2002). *GIS Modeling in Raster* John Wiley & sons. Chichester 203 pp .
47. Diaz, M. (2002). *Geoestadística aplicada. Instituto de Geofísica, UNAM* .
48. Diaz, M., Gonzales, R. . (2009). *Geoestadística Aplicada. Estimación espacial* . Universidad Nacional Autonoma de México .
49. Dick, J., Gerard, D.M. (2007). *Optimization of sample patterns for universal kriging of environmental variables. ScienceDirect* , 86-95.
50. Diggle, P., Ribeiro, P. (2007). *Model-based Geostatistics. Springer*.
51. Echarri, L. (2007). *Población ecología y ambiente . Contaminación del agua* . Universidad de Navarra.
52. Ecosystem Sciences Foundation . (2006). *Calidad del agua de los pozos en San Miguel de Allende. Direccion de medio ambiente y ecología* . México.
53. Elera, G. (2005). *Modelación numérica del río Piura utilizando River 2D, entre los puentes Cáceres e Integración. Tesis para optar por el título de Ingeniero Civil, Universidad de Piura* . Perú.
54. Engineers U.A. (2014). *Hydrologic Engineering Center. From <http://www.hec.usace.army.mil/software/hecras/>*
55. Eslami, H., Dastorani, J., Javadi, M., Chamheidar, H. (2013). *Geostatistical Evaluation of Ground Water quality Distribution with GIS (Case Study: Mianab-Shoushtar Plain). Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences, Bull. Env. Pharmacol. Life Sci., Vol 3 (1) , 78-82.*
56. Espigares, M., Pérez, J. . (1986). *Aguas rsiduales, Composicion* . From [http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas\\_Residuales\\_composicion.pdf](http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_composicion.pdf)
57. Esteves, F. d. (1998). *Fundamentos de Limnología. Brazil, Rio de Janeiro: Interciencia.*
58. Estrada, V., Pacheco, R. (2012). *Modelación hidrológica con HEC-HMS en cuencas montañosas de la región oriental de Cuba. RIHA vol.33 no.1 La Habana* .

59. F. Díaz, F. V. (1999). *Las aguas superficiales*. *Journal Científico de la Universidad de Santiago de Compostela* , 253-273.
60. Faure, A. (3 de Enero de 1992). Unesco. From unesco: <https://prezi.com/tj9iampvh3ys/cationes-y-aniones-en-parametros-de-calidad-de-agua/>
61. Fernandez, M., Soria, A. (2011). *La contaminación de las aguas por nitratos procedentes de fuentes de origen agrario*. Comunidad Autónoma de la Región de Murcia Consejería de Agricultura y Agua . España .
62. Fisheries and Aquaculture Department. (2016). *Physical and Chemical Processes: Hydrology*. From FAO: <http://www.fao.org/docrep/003/t0537e/T0537E02.htm>
63. FITCHNER HIDROESTUDIOS. (2014). "Estudios de Factibilidad y Diseños Definitivos del Plan de Descontaminación de los ríos de Quito". Informe 3 "Implementación de Modelos de Simulación y Formulación de Alternativas de Intercepción/Tratamiento" .
64. Flores, F. (2010). *Manejo integral de la Cuenca Hidrográfica del río Ambi ubicado en la Provincia de Imbabura entre las poblaciones de Atuntaqui y Otavalo, sector Cantón Cotacachi*. Tesis de grado ingeniería Civil Universidad San Francisco de Quito .
65. Fostner, L. (1 de junio de 2014). *Componentes de las Aguas*. Retrieved 3 de enero de 2017 from *Metales Pesados*: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/94296/04ComponentesAguas01.pdf>
66. Franco, M. (2016). *Planta de tratamiento de Ibarra y Otavalo*. (P. Piedra, Interviewer)
67. Franzpc, A. (2011).
68. FUNDACIÓN IBÉRICA PARA LA SEGURIDAD ALIMENTARIA. (2001). *Nitritos nitratos y nitrosaminas* .
69. *Fundamentals of Enviromental Measurements*. (2016). *Conductivity, Salinity & Total Dissolved Solids*. From Fondriest: <http://www.fondriest.com/environmental-measurements/parameters/water-quality/conductivity-salinity-tds/#cond19>

70. Funes, H. (2004). *Métodos estadísticos en problemas espaciales*. Universidad Nacional de Tucumán .
71. Garay, J. P. (1993). *Manual de Técnicas Analíticas de Parámetros Físico-químicos y Contaminantes Marinos*. Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas.
72. García, A. (2012). *Criterios modernos para evaluación de la calidad del agua para riego (Primera parte)*. From [http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/B3BD6ED103283DDD85257A2F005EF91B/\\$FILE/6%20Art.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/B3BD6ED103283DDD85257A2F005EF91B/$FILE/6%20Art.pdf)
73. Genton, G. D. (Enero de 1999). *Geoestadística. Análisis Estructural* . Mexico.
74. Gómez, L. F. (2010). *Indicadores de la calidad del agua*. From *Escuela Politécnica del Litoral*: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6166/1/INDICADORES%20DE%20CALIDAD%20DEL%20AGUA%20EXPOSIC.pdf>
75. Goyenola , G. . (2007). *Red de Monitoreo Ambiental Participativo de Sistemas Acuáticos RED MAPSA. Oxígeno disuelto* .
76. Guerra, E. (2006). *Análisis multitemporal de la cobertura y uso de la tierra a través del sistema LCCS en la cuenca baja del río Grande-Santa Cruz*. Universidad Mayor de San Simón . Bolivia.
77. Guisande, C., Barreiro, A., Maneiro, I., Riveiro, I., Vergara, A., Vaamonde, A. (2006). *Tratamiento de Datos* . Vigo: Díaz de Santos.
78. Gutierrez, A. (2006). *Modelación hidrológica empleando isoyetas de relieve, una aproximación Geoestadística*. *Climate Variability and Change Hydrological Impacts Fifth FRIEND World Conference held at Havana, Cuba* .
79. Helmer, R. (1994). *Water quality monitoring: national and international approaches* . *Hydrological, Chemical and Biological Processes of Transformation and Transport of Contaminants in Aquatic Environments* , 3-17.
80. Helsel, D. R., & Hirsch, R. M. (2002). *Statistical Methods in Water Resources*. In U. G. Survey, *Hydrologic Analysis and Interpretation* (pp. 17-64). Reston.

81. Heng Lee, A., Nikraz, H. (2015). BOD:COD ratio as indicator for river pollution. *International Proceedings of Chemical, Biological and Environmental Engineering* , 89-94.
82. Hengl, T. (2009). *A Practical Guide to Geostatistical Mapping*. From [http://spatial-analyst.net/book/system/files/Hengl\\_2009\\_GEOSTATE2c1w.pdf](http://spatial-analyst.net/book/system/files/Hengl_2009_GEOSTATE2c1w.pdf)
83. Henríquez, C., Mendez, J.C., Masís, R. (2013). Interpolación de variables de fertilidad de suelo mediante el análisis Kriging y su validación. *Agronomía costarricense* , 71-82.
84. Hernandez, F. (2015). *Asistencia Técnica Agrícola*. From *El ph del agua de riego*: <http://www.agro-tecnologia-tropical.com/>
85. Hernández, G. (2011). *Tipos de Modelos en Investigación de Operaciones*. From *Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*: [https://www.uaeh.edu.mx/docencia/P\\_Presentaciones/huejutla/sistemas/investigacion\\_operaciones/modelos.pdf](https://www.uaeh.edu.mx/docencia/P_Presentaciones/huejutla/sistemas/investigacion_operaciones/modelos.pdf)
86. Holguin, J., Camacho, A. (2003). *Determinación de la tasa de reaeración en un río de montaña colombiano mediante el uso de trazadores* . *Seminario Internacional La Hidroinformática en la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos* . Colombia.
87. IEOS. (1992). Norma CO 10.07 - 601. *Abastecimiento de agua potable y eliminación de aguas residuales en el área urbana* .
88. Illana. (2014). *Eutrofización de las aguas*. Estados Unidos.
89. Illana, M. (2014). *Estudio de la adsorción de fosfatos en aguas de depuradora mediante intercambiadores iónicos*. *Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona* .
90. IMTA. (1991). *Manual no. 7 determinación de coliformes fecales. Adiestramiento para la prevención y control de las enfermedades gastrointestinales en el sector agua* . Mexico.
91. INAMHI . (2015). *Determinación de ecuaciones para el cálculo de intensidades máximas de precipitación* . *Actualización del estudio de lluvias intensas* . Quito, Ecuador .



92. Instituto Español del Cemento. (1 de Enero de 2013). *Represas Hidráulicas de Hormigón*. From IECA: <https://www.ieca.es/Uploads/docs/Presas.pdf>
93. Jiménez, A. (2001). *Determinación de los parámetros físico-químicos de calidad de las aguas* . Vol 2 .
94. Jimenez, A. (2002). *Mejora de una finca en el término municipal de Daimel*. Universidad de Castilla la Mancha, trabajo de titulación .
95. Jose Maria Ximenez Abbad, M. B. (1 de Marzo de 2007). *Salud Ambiental*. Retrieved 11 de Diciembre de 1016 from Nitratos: <http://salutambiental.caib.es/sacmicrofront/contenido.do?mkey=M1011100850266368098&lang=es&cont=26197>
96. Kerlinger, F. y. (2002). *Investigación del comportamiento*. México: McGraw-Hill.
97. Koch, A., Cabrera, P. (2010). *Análisis exploratorio de datos espaciales* . UNI\_GIS: Módulo electivo estadística espacial .
98. Kravchenko, A. (2003). *Influence of spatial structure on accuracy of interpolation methods*. *Soil Scienci Society of American Journal* , 1564-1571.
99. Krivoruchko, K. (2000). *Introduction to Modeling Spatial Processes Using Geostatistical Analyst*. ESRI.
100. *La contaminación de las aguas por nitratos procedentes de fuentes de origen agrario*. (2011). Murcia , España.
101. Laboski, C. (2008). *Fertilizer Management Considerations for 2008*. *Wisconsin Crop Manager 2008 Vol. 15 No. 4* , 1-8.
102. Lema, E., Carrión, C. (2013). *Generación de un modelo geoestadístico de concentración de plomo en el suelo de las parroquias San Rafael y Sangolquí*. Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE .
103. Leopold L. B, W. M. (1994). *Fluvial Processes and Morphology*. Freeman , 252.
104. Llinas, H., Rojas, C. (2005). *Estadística descriptiva y distribución de probabilidad* . Bogotá: Ediciones Uninorte.
105. Lozano, Z., Bravo, C., Ovalles, F., Hernández, M., Moreno, B., Piñango, L., Villanueva, J. (2004). *Selección de un diseño de muestreo en*

- parcelas experimentales a partir del estudio de la variabilidad espacial de los suelos. Bioagro , 1-17.*
106. Luceño, A., Gonzales, F. (2004). *Métodos estadísticos para medir, describir y controlar la variabilidad. Cantabria: Servicio de publicaciones de la Universidad de Cantabria.*
107. MacCarthur, S. (2014). *Agua. From <http://www.mapama.gob.es/es/agua/temas/estado-y-calidad-de-las-aguas/aguas-superficiales/categorias-y-tipos-de-masas-de-agua/>*
108. Macias, A. y. (1993). *Estudio de la geología en los sistemas hidrográficos.*
109. MAE. (2015). *TULSMA Acuerdo Ministerial 097-A . Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes del Recurso Agua libro VI anexo 1 .*
110. Margalef, R. (1983). *Limnología. España.*
111. Martínez, A. (1992). *Contaminación de nitratos en aguas superficiales y subterráneas, Efecto sobre el medio natural y medidas correctoras.*
112. Martínez, F., Ojeda, D., Hernández, O., Martínez, J., De la O, G. . (2011). *El exceso de nitratos, un problema actual en la agricultura. Synthesis , 11-16.*
113. Méndez, R. (1986). *El protocolo de investigación, lineamientos para su elaboración y análisis. México: EditorialTrillas.*
114. METALF & EDDY. . (1998). *Ingeniería de Aguas Residuales Volumen 1. Tratamiento, vertido y reutilización. Mc. Graw- Hill.*
115. MOPT . (1991). *Aguas residuales . Oxígeno disuelto . Madrid.*
116. Mora, J., Calvo, G. (2010). *Estado actual de contaminación con coliformes fecales de los cuerpos de agua de la Península de Osa. Tecnología en Marcha , 34-40.*
117. Moral Garcia, F. (2004). *Aplicación de la geoestadística en las ciencias ambientales. Ecosistemas, Revista científica y técnica de ecología y medioambiente , 78-86.*
118. Moreno, J. L. (2008). *Estimación de perdidas de agua por evaporación en embalses. Universidad de la Rioja .*

119. Moreno, T. (2003). *Determinación en campo del contenido de bicarbonatos del agua de riego*. From <http://www.horticom.com/pd/imagenes/66/955/66955.Pdf>
120. Nania, L. (2007). *Manual Básico de HEC- HMS3.0 y HEC GEO HMS 1.0. Cálculo de Caudales de Avenida con HEC-HMS y SIG* .
121. Nebel B, R. W. (1999). *Ciencias ambientales -Ecología y desarrollo sostenible*. México: Prentice Hall Pearson.
122. Nestor Mazzeo, J. C. (5 de Marzo de 1997). *Eutrofización Causas y Manejo*. From [fcien: http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/pasantias/eutrofizacion.pdf](http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/pasantias/eutrofizacion.pdf)
123. Nixon, S. (2009). *Eutrophication and the macroscope: Hydrobiologia*.
124. North American Lake Management Society. (1990). *Lake and Reservoir Restoration Guidance Manual*. Office of Water Washington DC , 18-30.
125. OCDE. (1982). *utrophisation des eaux. Méthodes de surveillance, d'evaluation et de lutte*. 164. Francia, Paris.
126. Olave, L. (9 de marzo de 2013). *Cationes y Aniones en Parámetros de Calidad de Agua*. Retrieved 16 de diciembre de 2016 from Prezi: <https://prezi.com/tj9iampvh3ys/cationes-y-aniones-en-parametros-de-calidad-de-agua/>
127. Olaya, V. (2011). *Álgebra de mapas* . In *Sistemas de información geográfica* (pp. 307-327).
128. Oliver. (2010). *Geoestadística*.
129. Olmos, C. G. (11 de Mayo de 2000). *Fenómenos de Eutrofización*. From *Eutrofización de Cuerpos de Agua*: [http://www.proyectopandora.es/wp-content/uploads/Bibliografia/13101319\\_eutrofizacion\\_cuerpos.pdf](http://www.proyectopandora.es/wp-content/uploads/Bibliografia/13101319_eutrofizacion_cuerpos.pdf)
130. Ongley, E. D. (1997). *Lucha contra la contaminación Agrícola de los recursos hídricos*. Canada: Organización de las Naciones Unidas .
131. Orozco, C., Pérez, A., Gonzales, M N., Rodriguez, F., Alfayate, J M. (2004). *Contaminación Ambiental*. Thomson.

132. Osicka, R., Giménez, M. (2004). *Determinación del contenido de sodio y potasio en aguas naturales subterráneas por fotometría de llama*. Universidad Nacional del Nordeste .
133. Palma, R., Garnica, E., López, L., Ortiz, J., Peñaranda, S., Raad, J. (1999). *Análisis de agua para consumo humano*. Instituto Nacional de Salud . Santa Fé de Bogotá D.C.
134. Perez, S. (2015). *Índices de salinidad de las aguas de riego del cantón Milagro, Guayas, Ecuador. Tesis de grado de maestría en gestion ambiental* . Sangolquí.
135. Perry L. McCarty, G. F. (2001). *Química para Ingeniería Ambiental*. Estados Unidos: Mc Graw Hill.
136. Pinochet et, a. (2001). *Fósforo Orgánico e inorgánico*. Colombia.
137. Pinos, M., Pizarro, K., Pomavilla, J. (2011). *Organización y calidad del agua de consumo humano y salud, sistema de agua Tarqui- la Victoria del Portete*. Universidad de Cuenca .
138. Plutz, G. (2000). *Fósforo en las aguas*. México: 1.
139. PNBV. (2013). *Plan Nacional del Buen Vivir* . From [www.buenvivir.gob.ec](http://www.buenvivir.gob.ec)
140. Posada, E., Salvatierra , H. (2001). *Análisis multitemporal del cambio del ecosistema de manglar en la costa del departamento del Atlántico (Colombia)*. Revista Cartografica Proquest central .
141. PRODERENA. (2001). *Propuesta del Plan de Manejo Racional del Uso del Agua*.
142. Putz, P. (2008). *Eliminación y determinación de fosfato*. Informe Práctico HACH .
143. Quiros, R. (2000). *La Eutrofización de las aguas continentales Argentina*. From Agro: <http://www.agro.uba.ar/users/quiros/Eutrofizacion/EutroArgentina.pdf>
144. Ramirez, R. G. (1992). *Fundamentos de limnología neotropical*. Colombia: Universidad de Antioquia.
145. Richards, L. A. (1954). *Diagnosis and improvment of Saline and Alkali Soils* . Washington D.C.: Agriculture Handbook No 60.

146. Richards, L. A. (1959). *Suelos Salinos y Sódicos: Manual de Agricultura No. 60. Estados Unidos de América: Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos de América.*
147. Rivas, V., Chuquilin, E. . (2012). *Evaluación de los niveles de contaminación de aguas residuales en la quebrada Funas, con fines de tratamiento con humedales. Investigación y Amazonía ISSN 2223-8492 , 85-94.*
148. Robedro, J. C. (2014). *Cálculo de caudales de avenida. Universidad Politécnica de Madrid .*
149. Rodier, J. (1981). *Análisis de Aguas: aguas naturales, aguas residuales y agua de mar. Barcelona: Omega.*
150. Rodier, J. (1998). *Analisis de las aguas . Barcelona : Omega .*
151. Rodriguez, C., Duque, C., Calvache, M L., López, M. (2010). *Causas de ls variaciones de la conductividad eléctrica del agua subterránea en el acuífero Motril-Salobreña, España. GEOGACETA , 107-110.*
152. Romero Rojas, J. (1999). *Calidad del agua, 2 da Edición. México: Alfaomega.*
153. Ronzano, E., Dapena, J.L. (2010). *Eliminación de fósforo en las aguas residuales.*
154. Rueda, F. (2010). *Autodepuración y vertidos en cursos fluviales. Universidad de Granada . España.*
155. Ruiz, J., De Jesús, O. (2012). *Alteraciones de la precipitación y la temperatura ante variabilidad y cambio climático para la ciudad de Bogotá. IDEAM , 1-22.*
156. Ruiz, V. (2013). *Análisis multitemporal del cambio de uso del suelo, en el Paisaje Terrestre Protegido Miraflor Moropotente Nicaragua. Ecosistemas , 117-123.*
157. Ryding, S. O. (1992). *El Control de Eutrofización en Lagos y Pantanos. Madrid.*
158. Salvador Figueras, M., Gargallo, P. (2003). *Análisis exploratorio de datos (AED). From 5campus.com: <http://www.5campus.com/leccion/aed>*

159. Sanchez, J. (2012). *Hidrología Hidrogeología*. From Departamento de Geología . Universidad de Salamanca (España): [http://hidrologia.usal.es/practicas/Hietog\\_diseno\\_fundamento.pdf](http://hidrologia.usal.es/practicas/Hietog_diseno_fundamento.pdf)
160. Sandoval, W., Aguilera, E. (Diciembre de 2014). *Determinación de Caudales en cuencas con poco información Hidrológica*. *Revista Ciencia UNEMI No 2* , 100-110.
161. Sawyer, C., & McCarty, P. (1996). *Chemistry for Environmental Engineering*. Estados Unidos: McGraw Hill.
162. SENESCYT. (2015). *Ecuador Universitario*. From <http://ecuadoruniversitario.com/noticias-universitarias/con-una-inversion-de-1-381-millones-se-crearon-4-universidades-emblematicas/>
163. Serman & asociados s.a. (2008). *Estudio de impacto ambiental central termoeléctrica a carbón río Turbio, Santa Cruz . Identificación y evaluación de impactos, modelación matemática de calidad de agua .*
164. Simes, L. (2011). *Introducción a la química general (1ra ed)*. Argentina: Jorge Sarmiiento Editor-Universitas. From <http://www.ebrary.com>.
165. SINGH, V. P. (1992). *Elementary Hidrology*. Prentice – Hall, Englewood Cliffs .
166. Soto, G. C. (2010). *Impacto y consecuencias de las Represas*. From Eco Portal: [http://www.ecoportal.net/Temas-Especiales/Agua/Impacto\\_y\\_Consecuencias\\_de\\_las\\_Represas](http://www.ecoportal.net/Temas-Especiales/Agua/Impacto_y_Consecuencias_de_las_Represas)
167. Szabolcs, I. (1989). *Salt affected soils*. United states: Boca Raton .
168. Tamayo, C. (2016). *Calidad de agua y suelo en la cuenca del río Ambi para uso agrícola en los campos experimentales de la ciudad del conoconimieto Yachay mediante análisis físico-químico*. Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE.
169. Tapia, J. C. (2012). *Modelización hidrológica de un área experimental en la cuenca del río Guayas en la producción de caudales y sedimentos*. UNLP. tesis de maestría Facultad de ciencias agrarias y forestales .
170. Tellez, C., Lemus, D. (2014). *Estadística descriptiva y probabilidad con aplicaciones en R. U. Los Libertadores .*

171. Terrádez, M. (2013). *Análisis de Componentes Principales*. From Universidad Abierta de Cataluña: [http://www.uoc.edu/in3/emath/docs/Componentes\\_principales.pdf](http://www.uoc.edu/in3/emath/docs/Componentes_principales.pdf)
172. Tomislav, H. (2009). *A Practical Guide to Geostatistical Mapping*. From [http://spatial-analyst.net/book/system/files/Hengl\\_2009\\_GEOSTATE2c1w.pdf](http://spatial-analyst.net/book/system/files/Hengl_2009_GEOSTATE2c1w.pdf)
173. Universidad Nacional de Buenos Aires. (2 de octubre de 2014). *Evaporación de las Aguas*. Retrieved 3 de enero de 2017 from Universidad de Buenos Aires: <http://users.exa.unicen.edu.ar/~jdiez/files/cstierra/apuntes/unidad3.pdf>
174. UPDC. (2016). "Análisis de Aguas.". From [http://www.upct.es/~minaees/analisis\\_aguas.pdf](http://www.upct.es/~minaees/analisis_aguas.pdf).
175. UPRM. (2003). *Parámetros físico químicos alcalinidad* . From <http://www.uprm.edu/biology/profs/massol/manual/p2-alcinidad.pdf>
176. USACE. (2010). *HEC-RAS* . From User's manual: <http://www.hec.usace.army.mil/>
177. Valverde, J. C. (2007). *Riego y drenaje*. San José, C.R: Euned.
178. Varela, R. (2013). *Determinación de CloroFILA a y Feopigmentos*. From <http://cariacodev.cbm.usb.ve/wp-content/uploads/2013/07/metodo13.pdf>
179. Ven te Chow, L. (2004). *Hidráulica de canales abiertos*. Mc Graw Hill.
180. Verniere, S. a. (2007). *Ciencias con lo mejor de Vernier. Calidad del agua, Oxígeno disuelto* .
181. Vicente, I. L.-P. (2003). *Estudio de la carga externa e interna de fósforo y aplicación de modelos empíricos de eutrofización en las aguas de la Albufera de Adra*. *Revista científica Universidad de Granada* , 165-181.
182. Villatoro, M., Henríquez, C., Sancho, F. (2008). *Comparación de los interpoladores IDW y Kriging en la variación espacial de pH, Ca, CICE y P del suelo*. *Agronomía Costarricense* , 95-105.
183. Westcot, A. y. (1987). *Aguas de Riego*. Estados Unidos.
184. Wetzel, F. (1981). *Componentes Iónicos de las Aguas*. México.

185. Wetzel, R. G. (2001). *Limnology: Lake and River Ecosystems*. San Diego, Ca: Academic Press.



## **ANEXOS**

## CONTROL Y VIGILANCIA DEL MUESTREO, PRESERVACIÓN Y ANÁLISIS

El proceso de control y vigilancia del muestreo, preservación y análisis (chain-of custody procedure) es esencial para asegurar la integridad de la muestra desde su recolección hasta el reporte de los resultados; incluye la actividad de seguir o monitorear las condiciones de toma de muestra, preservación, codificación, transporte y su posterior análisis. Este proceso es básico e importante para demostrar el control y confiabilidad de la muestra no sólo cuando hay un litigio involucrado, sino también para el control de rutina de las muestras. Se considera que una muestra está bajo la custodia de una persona si está bajo su posesión física individual, a su vista, y en un sitio seguro. Los siguientes procedimientos resumen los principales aspectos del control y vigilancia de las muestras (Garay, 1993).

Etiquetas: Para prevenir confusiones en la identificación de las muestras, pegar al frasco de muestra antes de o en el momento del muestreo, papel engomado o etiquetas adhesivas en las que se anote, con tinta a prueba de agua, por lo menos la siguiente información: número de muestra, nombre del recolector, fecha, hora y lugar de recolección, y preservación realizada.

Sellos: Para evitar o detectar adulteraciones de las muestras, sellar los recipientes con papel autoadhesivo, en los que se incluya por lo menos la siguiente información: número de muestra (idéntico al número en la etiqueta), nombre del recolector, fecha y hora de muestreo; también son útiles los sellos de plástico encogible. Adherir el sello de tal manera que sea necesario romperlo para abrir el recipiente de la muestra, después de que el personal muestreador ceda la custodia o vigilancia. (Garay, 1993)

Libro de campo: Registrar toda la información pertinente a observaciones de campo o del muestreo en un libro apropiado, en el que se incluya como mínimo lo siguiente: propósito del muestreo; localización de la estación de muestreo, o del punto de muestreo si se trata de un efluente industrial, en cuyo caso se debe anotar la

dirección y el nombre del representante de la empresa; tipo de muestra y método de preservación si es aplicable. Si se trata de una muestra de aguas residuales, identificar el proceso que produce el efluente. Estipular también la posible composición de la muestra y las concentraciones; número y volumen de muestra tomados; descripción del punto y método de muestreo; fecha y hora de recolección; número(s) de identificación del (los) recolector(es) de la muestra; distribución y método de transporte de la muestra; referencias tales como mapas o fotografías del sitio de muestreo; observaciones y mediciones de campo; y firmas del personal responsable de las observaciones. Debido a que las situaciones de muestreo varían ampliamente, es esencial registrar la información suficiente de tal manera que se pueda reconstruir el evento del muestreo sin tener que confiar en la memoria de los encargados. Guardar el libro en un sitio seguro.

Llegada de la muestra en el laboratorio: Las muestras se deben entregar en el laboratorio lo más pronto que sea posible después del muestreo, en el transcurso de dos días como máximo; si el tiempo de almacenamiento y preservación es menor, debe planificarse el procedimiento para asegurar su entrega oportuna en el laboratorio. En caso de que las muestras sean enviadas por correo a través de una empresa responsable, se debe incluir el formato de la compañía transportadora dentro de la documentación del control y vigilancia de la muestra. La solicitud de análisis debe estar acompañada por el registro completo del proceso de control y vigilancia de la muestra. Entregar la muestra a la oficina de recepción en el laboratorio; el recepcionista a su vez debe firmar el formato de vigilancia y control, incluyendo la fecha y hora de entrega.

En cuanto al método de muestreo se realizó un muestreo manual: El muestreo manual requiere de un mínimo de equipo, pero para programas de muestreo a gran escala o de rutina puede ser excesivamente costoso y de manejo dispendioso.

En cuanto a los recipientes para las muestras generalmente están hechos de plástico o de vidrio, y se utilizan de acuerdo con la naturaleza de la muestra y sus componentes. Los recipientes de vidrio son inconvenientes para muestras

destinadas a ser analizadas por metales traza; el vidrio libera Silicio y Sodio, a su vez, pueden adsorber trazas de metales contenidas en la muestra. Por otra parte los recipientes de plástico -excepto los teflonados (politetrafluoroetileno, TFE)- deben descartarse para muestras que contengan compuestos orgánicos, estos materiales liberan sustancias del plástico (por ejemplo, ésteres de ftalato del plástico) y a su vez disuelven algunos compuestos orgánicos volátiles de la muestra. Las tapas de los envases, generalmente de plástico, también pueden ser un problema, por lo que se debe usar empaques o séptum de metal o TFE. Para situaciones críticas, es adecuada la inclusión de un blanco del recipiente para demostrar la ausencia de interferencias. Usar los de vidrio para todos los análisis de compuestos orgánicos volátiles, semivolátiles, plaguicidas, PCBs, aceites y grasas.

Uno de los requerimientos básicos en el programa de muestreo es una manipulación ausente de procesos de deterioro o de contaminación antes de iniciar los análisis en el laboratorio; en el muestreo de aguas, antes de coleccionar la muestra es necesario purgar el recipiente dos o tres veces, a menos que contenga agentes preservativos. Dependiendo del tipo de determinación, el recipiente se llena completamente (esto para la mayoría de las determinaciones de compuestos orgánicos), o se deja un espacio para aireación o mezcla (por ejemplo en análisis microbiológicos); si el recipiente contiene preservativos no puede ser rebosado, lo cual ocasionaría una pérdida por dilución. Excepto cuando el muestreo tiene como objetivo el análisis de compuestos orgánicos, se debe dejar un espacio de aire equivalente a aproximadamente 1% del volumen del recipiente, para permitir la expansión térmica durante su transporte.

Cuando las muestras coleccionadas contienen compuestos orgánicos o metales traza, se requieren precauciones especiales, debido a que muchos constituyentes están presentes en concentraciones de unos pocos microgramos por litro y se puede correr el riesgo de una pérdida total o parcial, si el muestreo no se ejecuta con los procedimientos precisos para la adecuada preservación.

Las muestras representativas se pueden obtener sólo colectando muestras compuestas en periodos de tiempo predeterminados o en diferentes puntos de muestreo; las condiciones de recolección varían con las localidades y no existen recomendaciones específicas que puedan ser aplicables en forma general. Algunas veces es más informativo analizar varias muestras en forma separada en lugar de obtener una muestra compuesta, ya que es posible aparentar su variabilidad, los máximos y los mínimos.

En términos generales, la muestra colectada debe asegurar que los resultados analíticos obtenidos representan la composición actual de la misma. Los siguientes factores afectan los resultados: presencia de material suspendido o turbidez, el método seleccionado para su remoción, los cambios fisicoquímicos en el almacenamiento o por aireación. Por consiguiente es necesario disponer de los procedimientos detallados (como filtración, sedimentación, etc.) a los que se van a someter las muestras antes de ser analizadas, especialmente si se trata de metales traza o compuestos orgánicos en concentraciones traza. En algunas determinaciones como los análisis para plomo, estos pueden ser invalidados por la contaminación que se puede presentar en tales procesos. Cada muestra debe ser tratada en forma individual, teniendo en cuenta las sustancias que se van a determinar, la cantidad y naturaleza de la turbidez presente, y cualquier otra condición que pueda influenciar los resultados.

La selección de la técnica para recolectar una muestra homogénea debe ser definida en el plan de muestreo. Generalmente, se separa cualquier cantidad significativa de material suspendido por decantación, centrifugación o un procedimiento de filtración adecuado. Para el análisis de metales la muestra puede ser filtrada o no, o ambas, si se requiere diferenciar el total de metales y los disueltos presentes en la matriz (Sawyer & McCarty, 1996).

**Tabla 1.** Resumen de recomendaciones para el muestreo y preservación de las muestras de acuerdo a las mediciones

Determinación	Volumen mínimo de muestra, mL	Preservación	Almacenamiento máximo recomendado
Acidez	100	Refrigerar	14 d
Alcalinidad	200	Refrigerar	14 d
Boro	100	No requiere	6 meses
Bromuro	100	No requiere	28 d
Carbono orgánico, total	100	Análisis inmediato; o refrigerar y agregar H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> o H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> hasta pH<2	28 d
Cianuro:  Total	500	Agregar NaOH hasta pH>12, refrigerar en la oscuridad <sup>6</sup>	14 d <sup>7</sup>
Clorable	500	Agregar 100 mg Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /L	14 d <sup>7</sup>
Cloro, residual	500	Análisis inmediato	—
Clorofila	500	30 d en la oscuridad	30 d
Cloruro	50	No requiere	28 d
Color	500	Refrigerar	48 h
Compuestos orgánicos:			
Sustancias activas al azul de metileno	250	Refrigerar	48 h
Plaguicidas	1000	Refrigerar; agregar 1000 mg ácido ascórbico/L si hay cloro residual	7 d hasta la extracción
Fenoles	500	Refrigerar; agregar H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> hasta pH<2	40 d después de extraer

Purgables por purga y trampa	2 ´ 40	Refrigerar; agregar HCl hasta pH<2; agregar 1000 mg ácido ascórbico/L si hay cloro residual	14 d
Conductividad	500	Refrigerar	28 d
DBO	1000	Refrigerar	48 h
Dióxido de carbono	100	Análisis inmediato	—
Dióxido de cloro	500	Análisis inmediato	—
DQO	100	Analizar lo más pronto posible, o agregar H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> hasta pH<2; refrigerar	28 d
Dureza	100	Agregar HNO <sub>3</sub> hasta pH<2	6 meses
Fluoruro	300	No requiere	28 d
Fosfato	100	Para fosfato disuelto filtrar inmediatamente; refrigerar	48 h
Gas digestor de lodos	—	—	—
Grasa y aceite	1000	Agregar HCl hasta pH<2, refrigerar	28 d
Metales, general	500	Filtrar <sup>8</sup> , agregar HNO <sub>3</sub> hasta pH<2	6 meses
Cromo VI	300	Refrigerar	24 h
Cobre, colorimetría			
Mercurio	500	Agregar HNO <sub>3</sub> hasta pH<2, 4°C, refrigerar	28 d
Nitrógeno:			

Amoniaco	500	Analizar lo más pronto posible, o agregar H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> hasta pH<2; refrigerar	28 d
Nitrato	100	Analizar lo más pronto posible o refrigerar	48 h (28 d para muestras cloradas)
Nitrato + nitrito	200	Agregar H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> hasta pH<2, refrigerar	28 d
Determinación	Volumen mínimo de muestra, mL	Preservación <sup>4</sup>	Almacenamiento máximo recomendado <sup>5</sup>
Nitrito	100	Analizar lo más pronto posible o refrigerar	48 h
Orgánico, Kjeldahl	500	Refrigerar; agregar H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> hasta pH<2	28 d
Olor	500	Analizar lo más pronto posible; refrigerar	—
Oxígeno, disuelto:	300		
Electrodo		Análisis inmediato	—
Winkler		La titulación puede aplazarse después de la acidificación	8 h
Ozono	1000	Análisis inmediato	—
pH	50	Análisis inmediato	—
Sabor	500	Analizar lo más pronto posible; refrigerar	—
Salinidad	240	Análisis inmediato o usar sello de cera	—
Sílica	200	Refrigerar, no congelar	28 d
Sólidos	200	Refrigerar	2-7 d, ver protocolo
Sulfato	100	Refrigerar	28 d



Sulfuro	100	Refrigerar; agregar 4 gotas de acetato de zinc 2N/100 mL; agregar NaOH hasta pH>9	7 d
Temperatura	—	Análisis inmediato	—
Turbidez	100	Analizar el mismo día; para más de 24 h guardar en oscuridad, refrigerar	48 h
Yodo	500	Análisis inmediato	—

# FOTOGRAFÍAS DE LOS MUESTREOS

