



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA
CONSTRUCCIÓN**

**CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO
AMBIENTE**

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO GEÓGRAFO Y DEL MEDIO
AMBIENTE**

**TEMA: DISEÑO DE TECNOSOLES PARA LA RETENCIÓN DE
FOSFATOS EN EL AGUA, DE LA PRESA PROPÓSITO
MÚLTIPLE CHONE (PPMCH), A PARTIR DE MUESTRAS DE
SUELOS DEL CANTÓN CHONE MANABÍ, ECUADOR**

**AUTOR: CALVOPÍÑA ENRÍQUEZ, KAREN DANIELA
VILELA CARRILLO, ADRIANA PATRICIA**

DIRECTOR: CARRERA VILLACRÉS, DAVID VINICIO

SANGOLQUÍ

2017



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**DISEÑO DE TECNOSOLES PARA LA RETENCIÓN DE FOSFATOS EN EL AGUA, DE LA PRESA PROPÓSITO MÚLTIPLE CHONE (PPMCH), A PARTIR DE MUESTRAS DE SUELOS DEL CANTÓN CHONE MANABÍ, ECUADOR**” realizado por las señoritas **Karen Daniela Calvopiña Enríquez** y **Adriana Patricia Vilela Carrillo**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar para que las señoritas **Karen Daniela Calvopiña Enríquez** y **Adriana Patricia Vilela Carrillo** lo sustente públicamente.

Sangolquí, 28 de Julio del 2017


ING. DAVID CARRERA PHD.

Director del Proyecto de Titulación.



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN

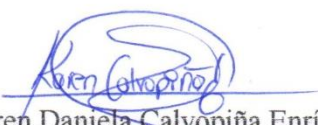
CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE

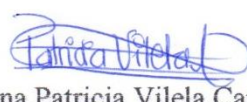
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, KAREN DANIELA CALVOPIÑA ENRÍQUEZ, con cédula de identidad N° 172053979-8, y yo ADRIANA PATRICIA VILELA CARRILLO con cédula de identidad N° 172585799-7 declaramos que este trabajo de titulación “DISEÑO DE TECNOSOLES PARA LA RETENCIÓN DE FOSFATOS EN EL AGUA, DE LA PRESA PROPÓSITO MÚLTIPLE CHONE (PPMCH), A PARTIR DE MUESTRAS DE SUELOS DEL CANTÓN CHONE MANABÍ, ECUADOR” ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaramos que este trabajo es de nuestra autoría, en virtud de ello nos declaramos responsables del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Sangolquí, 01 de agosto del 2017.


Karen Daniela Calvopiña Enríquez
CC: 172053979-8


Adriana Patricia Vilela Carrillo
CC: 172585799-7



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE

AUTORIZACIÓN

Yo, KAREN DANIELA CALVOPÍÑA ENRÍQUEZ, y yo ADRIANA PATRICIA VILELA CARRILLO, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación “DISEÑO DE TECNOSOLES PARA LA RETENCIÓN DE FOSFATOS EN EL AGUA, DE LA PRESA PROPÓSITO MÚLTIPLE CHONE (PPMCH), A PARTIR DE MUESTRAS DE SUELOS DEL CANTÓN CHONE MANABÍ, ECUADOR” cuyo contenido, ideas y criterios son autoría y responsabilidad.

Sangolquí, 01 de agosto del 2017


Karen Daniela Calvopiña Enríquez

CC: 172053979-8


Adriana Patricia Vilela Carrillo

CC: 172585799-7

DEDICATORIA

Todo el esfuerzo y los frutos de este trabajo se lo dedico principalmente mi padre Manuel, que aunque ya no este conmigo siempre fue mi inspiración y mi apoyo incondicional, porque gracias a sus enseñanzas y a su amor aprendí el significado de vivir. Porque siempre tenía las palabras exactas para reconfortarme y sobre todo por haber sido un ejemplo de vida.

A mi Madre Gloria por ser esa guía que ha permanecido a mi lado, por ese coraje y esa fortaleza que la caracterizan, por su ejemplo, por su amor incondicional, por ser ese motor que me impulsa a seguir adelante y por enseñarme a nunca darme por vencida.

A mi hermano Héctor por ser esa persona a la que siempre puedo acudir, por haberme ayudado en innumerables ocasiones, por sus ocurrencias, porque hasta en las adversidades ha sabido sacarme una sonrisa y por ser una pieza fundamental en mi vida.

Karen

DEDICATORIA

A mi padre, Andrés Enrique Vilela Olave, por ser una persona sabia que ha sabido guiarme desde mi infancia hasta la adultez y por el amor incondicional con todas sus hijas y nietas, quien ha trabajado arduamente para vernos realizadas en la vida y quien nos ha inculcado principios y valores morales.

A mi madre, Hortensia Eulalia Carrillo Moreno, por el amor incondicional que nos brinda día a día a todas sus hijas y nietas, por ser la persona que en los momentos difíciles tiene una solución, para ella no existe la palabra imposible, y por su sacrificio arduo para conseguir que sus hijas sean mejores cada día, con su temple y buen humor para conseguir una sonrisa en nuestro entorno familiar, con su espíritu noble y puro que siempre le ha caracterizado.

A mis hermanas, que han sido más que amigas y confidentes, por el apoyo cuando he tenido momentos difíciles y por hacerme feliz cuando lo he necesitado.

Finalmente a Jean Figueroa, por ser esa persona especial en mi vida, quien ha sido un pilar importante durante el transcurso de mi vida universitaria; pues en los momentos difíciles, ha sabido darme fuerza y valor, para poder alcanzar mis metas y objetivos.

Paty

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a mi madre por todo el esfuerzo que realiza día a día para que yo haya podido terminar esta carrera universitaria con éxito, por la paciencia y el apoyo durante todo este camino, y por siempre buscar mi bienestar.

A mi hermano por haberme acompañado durante este proceso y no dejar que me rinda a pesar de las complicaciones.

A mis amigos Paty y Bryan por haberme acompañado durante toda la carrera universitaria, porque de todos los trabajos y malas noches resultó una amistad sincera y desinteresada que estoy segura perdurará.

A nuestro director de Tesis por los conocimientos impartidos, por el incentivo a la investigación y por exigirnos siempre los mejores resultados.

Al Dr. Eduardo Mayorga por su cooperación en la realización de la parte experimental de este proyecto, por el valioso tiempo que nos dedicó y por todos los aportes brindados que fueron de suma importancia para la culminación del trabajo.

Al laboratorio de Tecnología Ambiental de la Universidad de Santiago de Compostela en España y a sus integrantes por abrirnos las puertas para realizar una estancia de investigación en la que aprendimos sobre Tecnosoles e incentivar el desarrollo de este proyecto y al Dr. Dario Bolaños por facilitarnos este intercambio de conocimiento.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, Andrés y Hortensia, por el sacrificio que han hecho para que pueda realizarme académicamente y por cuidar de mí, estando presentes incondicionalmente.

A mis amigos, Karen y Bryan, quienes han sido personas integra y de excelentes principios morales, por compartir momentos tanto en el aula como fuera de ellas, porque su amistad es muy valiosa.

A mi director de tesis, por transmitirnos sus conocimientos, buscando siempre la excelencia académica, en todos los trabajos que él nos dirigió; exigiéndonos al máximo para obtener resultados óptimos.

Al Dr. Eduardo Mayorga, por su tiempo, quien nos ayudó en la parte experimental de este trabajo, aportándonos varios conocimientos que fueron muy valiosos para lograr culminar este proyecto.

Al Dr. Darío Bolaños, por su ayuda con la movilidad estudiantil a España, a realizar intercambio de conocimientos, en los laboratorios de la Universidad de Santiago de Compostela.

Paty

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN.....	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS	vii
RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT	xviii
CAPÍTULO I.....	1
1. GENERALIDADES	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Planteamiento del Problema.....	3
1.3 Justificación e Importancia	4
1.4 Objetivos	5
1.4.1 Objetivo General	5
1.4.2 Objetivos Específicos.....	5
1.5 Hipótesis.....	6
CAPÍTULO II	7
2. MARCO TEÓRICO	7
2.1 Calidad del Agua.....	7
2.2 Principales parámetros físico-químicos para determinar la calidad del agua.....	7
2.3 Presencia de Fósforo en el agua.....	8
2.3.1 La Eutrofización.....	9
2.3.1.1 Efectos de la eutrofización	11
2.3.1.2 Problemas de eutrofización en represas lagos y lagunas	12
2.3.2 <i>Eichhornia Crassipes</i> , lechuguín	13
2.3.2.1 Condiciones de propagación de la <i>Eichhornia Crassipes</i>	13
2.3.2.2 Consecuencias de la existencia de <i>Eichhornia Crassipes</i>	14
2.4 El Fósforo y las condiciones climáticas.....	14
2.4.1 El Fósforo y la lluvia.....	14
2.4.2 El Fósforo y la evaporación	15
2.4.3 El Fósforo y la evapotranspiración	15

2.5 Métodos de Remoción de Fósforo en el agua	15
2.5.3 Sulfato de Aluminio para tratamiento de Fósforo en aguas residuales.....	17
2.6 El recurso Suelo y su uso.	18
2.7 El suelo como sumidero de Carbono.	19
2.8 Los Tecnosoles	20
2.8.2 La mina de Touro	22
2.8.3 Valorización de residuos	23
2.8.4 Características del aserrín	24
2.8.5 Características de la cascara de arroz.....	24
2.9 La adsorción.....	24
2.10 Métodos de Interpolación para realizar los mapas de distribución espacial.....	28
2.10.1 IDW.....	29
2.10.2 Spline.....	30
2.10.3 Vecinos naturales	30
2.10.4 Kriging	31
2.11 Correlación de variables.....	32
2.12 Análisis con regresiones.....	32
2.12.1 Regresión lineal simple.....	33
2.12.2 Regresión lineal múltiple	33
CAPÍTULO III.....	34
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	34
3.1 Descripción del área de estudio	34
3.2 Muestreo y análisis de agua	36
3.2.1 Toma de muestras	36
3.2.2 Métodos de análisis.....	40
3.2.3 Elaboración del diagrama de Eh – pH para especies de Fósforo.....	41
3.2.4 Relación del Fósforo en función de las condiciones climáticas.....	41
3.3 Muestreo y análisis de suelos.....	44
3.3.1 Toma de muestras	44
3.3.2 Métodos de análisis.....	47
3.4 Diseño y elaboración de Tecnosoles.....	48
3.5 Ensayos de retención de fosfatos en las formulaciones de Tecnosoles.....	50
3.5.1 Fase de contaminación del agua sintética	50

3.5.2 Colocación del Tecnosol en las columnas	50
3.5.3 Montaje del experimento.....	51
3.6 Realización de la cinética y el modelo de predicción de funcionamiento del Tecnosol.....	52
3.7 Realización de las isothermas de Langmuir y Freundlich	53
CAPÍTULO IV	54
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	54
4.1 Análisis de parámetros físico químicos en las aguas de río Grande.....	54
4.1.1 Diagramas de Eh-pH para especies de Fósforo.....	57
4.2 Demostración y análisis del fenómeno de eutrofización a través de mapas de distribución espacial a través del tiempo	58
4.3 Incremento de las concentraciones de fosfatos y nitratos en los años 2013, 2014, 2016 y 2017 y su grado de correlación	67
4.4 Análisis estadístico de las concentraciones de fosfatos vs condiciones climáticas e interpolación de los valores de precipitación, evaporación y evapotranspiración de los años 2013, 2014, 2016 y 2017.....	68
4.4.1 Análisis estadístico de las concentraciones de fosfatos vs condiciones climáticas: año 2013	75
4.4.2 Análisis estadístico de las concentraciones de fosfatos vs condiciones climáticas: año 2014	78
4.4.3 Análisis estadístico de las concentraciones de fosfatos vs condiciones climáticas: año 2016 y 2017	80
4.5 Búsqueda y análisis de los suelos para la elaboración de un Tecnosol que retenga fosfatos	83
4.5.1 Caracterización física de los suelos para desarrollar un Tecnosol que retenga fosfatos	83
4.5.2 Caracterización química de los suelos para desarrollar un Tecnosol que retenga fosfatos.....	86
4.5.3 Análisis químico de las tres muestras de suelo seleccionadas para desarrollar un Tecnosol que retenga fosfatos	89
4.5.4 Análisis físicos de las tres muestras de suelo férrico para desarrollar un Tecnosol que retenga fosfatos	92
4.5.5 Análisis químicos de las tres muestras de suelo férrico para desarrollar un Tecnosol que retenga fosfatos	93
4.6 Formulación de los Tecnosoles y ensayo de retención de fosfatos	97
4.7 Prueba de Retención de fosfatos al Tecnosol 5	105
4.7.1 Cinética de Remoción del Tecnosol 5	110

4.8 Isotermas de adsorción de Langmiur y Freundlich para el Tecnosol 5	116
CAPÍTULO V	121
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	121
5.1 Conclusiones.....	121
5.2 Recomendaciones.....	123
BIBLIOGRAFÍA.....	125
ANEXOS.....	136

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Espejo de agua de la PPMCH, visita de campo en febrero de 2017.....	4
Figura 2 Componentes principales de un Humedal Artificial (HA)	16
Figura 3 Evolución de la Mina de Touro con Tecnosoles.	23
Figura 4 Transferencia de masa y procesos de adsorción	25
Figura 5 Aplicación de IDW	30
Figura 6 Implementación Kriging Ordinario	31
Figura 7 Interpretación del coeficiente de correlación.....	32
Figura 8 Mapa de ubicación de la PPMCH, en el cantón Chone.....	35
Figura 9 Mapa de puntos de muestreo en el Sistema Hidrográfico de Río Grande...	37
Figura 10 Mapa de ubicación de las estaciones meteorológicas de la red INAMHI.	43
Figura 11 Mapa de ubicación de los perfiles de suelo muestreado.....	45
Figura 12 Agua sintética con fosfatos en recipiente de 4 litros de capacidad.....	50
Figura 13 Tecnosol colocado en el tubo de PVC	51
Figura 14 Diseño del experimento llevado a cabo para retención de fosfatos en los Tecnosoles	52
Figura 15 Valores medidos de temperatura y pH para los 26 puntos 2016 y 2017 ...	56
Figura 16 Valores de CE y SO_4^{-2} año 2016 y 2017.....	57
Figura 17 Diagrama de Pourbaix Eh-pH de distribución de especies de Fósforo años 2016 y 2017	58
Figura 18 Concentraciones de PO_4^{-3} medidos en los años 2013, 2014, 2016 y 2017	62
Figura 19 Concentraciones de NO_3^{-} medidos en los años 2013, 2014, 2016 y 2017	63
Figura 20 Mapa de las concentraciones de fosfatos en el agua del sistema hidrográfico de río Grande de los años 2013, 2014, 2016 y 2017.....	64
Figura 21 Mapa de ubicación de los afluentes que aportan fosfatos al agua del sistema hidrográfico de río Grande 2016 y 2017	66
Figura 22 Distribución de concentraciones fosfatos vs nitratos.....	68
Figura 23 Modelos ráster de precipitación, evaporación y evapotranspiración para el año 2013.....	70

Figura 24 Modelos ráster de precipitación, evaporación y evapotranspiración para el año 2014.....	71
Figura 25 Modelos ráster de precipitación, evaporación y evapotranspiración para el año 2016.....	72
Figura 26 Mapa de distribución de la humedad en los 17 perfiles de Suelo muestreados en Chone año 2016	85
Figura 27 Gráfico de barras de CE de los suelos en función de su pH	88
Figura 28 Efecto del pH del suelo y la disponibilidad de Fósforo	96
Figura 29 Cinética de remoción de $(\text{P}\text{O}_4)^{3-}$ a $1,25 \text{ mg.L}^{-1}$ con el Tecnosol 4	101
Figura 30 Cinética de remoción de $(\text{P}\text{O}_4)^{3-}$ a $1,25 \text{ mg.L}^{-1}$ con el Tecnosol 5	102
Figura 31 Cinética de remoción de $(\text{P}\text{O}_4)^{3-}$ a $1,25 \text{ mg.L}^{-1}$ con el Tecnosol 6	103
Figura 32 Cinética de remoción de $(\text{P}\text{O}_4)^{3-}$ a $1,25 \text{ mg.L}^{-1}$ con el Tecnosol 6	104
Figura 33 Comportamiento del Tecnosol 5.....	109
Figura 34 Variación de la concentración de $(\text{P}\text{O}_4)^{3-}$ en el agua por acción del Tecnosol 5.....	110
Figura 35 Ajuste de la ecuación de la cinética del Tecnosol 5	113
Figura 36 Modelo realizado en el software Vensim	114
Figura 37 Modelo del comportamiento del fosfato en el Tecnosol	115
Figura 38 Modelo de la adsorción a través del tiempo	116
Figura 39 Isoterma de adsorción Modelo de Langmiur	117
Figura 40 Isoterma de adsorción Modelo de Freundlich	119

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Características de ríos, lagos y lagunas para evidenciar el estado trófico	10
Tabla 2 Descripción y ubicación de los puntos de muestreo de agua	38
Tabla 3 Parámetros físico químicos para análisis de aguas	40
Tabla 4 Estaciones meteorológicas para el área de estudio	42
Tabla 5 Descripción y ubicación de los puntos de muestreo	46
Tabla 6 Determinación de parámetros físico- químicos para análisis de suelos.....	48
Tabla 7. Parámetros físico-químicos medidos en época de sequía y lluvia	54
Tabla 8 Concentraciones de PO_4^{3-} y NO_3^- de los años 2013, 2014, 2016 y 2017	59
Tabla 9 Correlación entre PO_4^{3-} y NO_3^- de las aguas de río Grande.....	67
Tabla 10 Valores de fosfatos (PO_4^{3-}), precipitación, evaporación y evapotranspiración para los años 2013, 2014, 2016 y 2017	73
Tabla 11 Análisis de correlación para el año 2013	75
Tabla 12 Modelo para la significación de la prueba F-test	76
Tabla 13 Resumen de modelo de regresión lineal múltiple	77
Tabla 14 Coeficientes (β), determinados para la ecuación de regresión múltiple	77
Tabla 15 Análisis de correlación para el año 2014	78
Tabla 16 Modelo para la significación de la prueba F-test	79
Tabla 17 Resumen del modelo de regresión lineal	80
Tabla 18 Coeficientes (β), determinados para la ecuación de regresión.....	80
Tabla 19 Análisis de correlación para el año 2016 y 2017	81
Tabla 20 Modelo para la significación de la prueba F-test	82
Tabla 21 Resumen del modelo de regresión lineal múltiple	82
Tabla 22 Coeficientes (β), determinados para la ecuación de regresión.....	83
Tabla 23 Propiedades Físicas de los perfiles de suelo	84
Tabla 24 Propiedades Químicas de los perfiles de suelo	87
Tabla 25 Propiedades químicas del suelo y su capacidad para retener Fósforo	90
Tabla 26 Propiedades físicas de los perfiles férricos en época de sequía	92
Tabla 27 Resultados de CE en los extractos de los perfiles de suelo férrico.....	93
Tabla 28 Propiedades químicas de los perfiles férricos en época de sequía.....	95
Tabla 29 Porcentajes para la formulación de los 3 primeros Tecnosoles	98

Tabla 30 Retención de fosfatos de los 3 primeros Tecnosoles	98
Tabla 31 Porcentajes de cada elemento en la formulación de los Tecnosoles	100
Tabla 32 Resultados del experimento de retención de fosfatos del Tecnosol 4.....	100
Tabla 33 Resultados del experimento de retención de fosfatos del Tecnosol 5.....	101
Tabla 34 Resultados del experimento de retención de fosfatos del Tecnosol 6.....	103
Tabla 35 Resultados del experimento de retención de fosfatos del Tecnosol 7.....	104
Tabla 36 Resultados del experimento de retención de fosfatos del Tecnosol 5.....	106
Tabla 37 Valores tomados en cuenta para la Cinética del Tecnosol 5.....	111
Tabla 38 Datos de las primeras 4 horas de experimento.....	113
Tabla 39 Datos para la Isoterma de Langmiur	117
Tabla 40 Datos para la Isoterma de Freundlich	118

RESUMEN

La eutrofización es un fenómeno provocado por el exceso de nutrientes existente en un cuerpo de agua, que da lugar al crecimiento acelerado de las plantas. En el cantón Chone, ubicado en la provincia de Manabí se encuentra el sistema hidrográfico de río Grande, su agua presenta un estado eutrófico por el exceso de nutrientes, debido a las actividades agropecuarias a las que se dedica el cantón además de su pasado geológico. Aquí se ha llevado a cabo la construcción de la Presa Propósito Múltiple Chone (PPMCH), el embalse de la presa se encuentra cubierto por plantas acuáticas principalmente lechuguines. Los objetivos de este estudio fueron: caracterizar los suelos de la cuenca alta del río Grande y con este suelo diseñar un Tecnosol que retenga fosfatos desde el agua y que disminuya las condiciones de eutrofización. Se analizaron 17 perfiles de suelo correspondientes a época de estiaje y época de lluvia. Las características físicas y químicas; determinaron la capacidad del suelo de solubilizar fósforo inorgánico y formar compuestos insolubles de Aluminio que inmovilicen aniones fosfatos. Por consiguiente, de acuerdo a los ensayos realizados los mejores fueron los suelos férricos, el perfil 17, con los cuales se realizaron 7 formulaciones de Tecnosoles, a estas se les realizaron ensayos de retención de fosfatos del agua y se eligió la mejor con la que se consiguió una retención de 90,4% de fosfatos del agua, concluyendo que esta técnica funcionaría para disminuir las condiciones de eutrofización del sistema hidrográfico de río Grande.

PALABRAS CLAVE:

- **EUTROFIZACIÓN**
- **TECNOSOL**
- **FÓSFORO**
- **FOSFATOS**

ABSTRACT

The eutrophication is a phenomenon caused by the excess of nutrients in a body of water, this produces an accelerated growth of plants. The hydrographic system of Rio Grande is located in the canton of Chone, province of Manabi, the water presents an eutrophic state caused by the excess of nutrients, because of the agricultural activities the canton is dedicated to and its geological past. Here has taken place the construction of the Multi Purpose Chone Dam (PPMCH for its Spanish name), the reservoir of the dam is covered by acuatic plants, mainly eichhornia crassipes. The aim of this study was to characterize the soils of the high watershed of Rio Grande and to design a Tecnosol that keeps the phosphates from the water and to reduce the eutrophication conditions. 17 profiles of soil corresponding to the dry and raining season were analyzed. The physical and chemical characteristics determined the capacity of the soil to solubilize inorganic phosphorus and create insoluble Aluminum compounds to immobilize phosphate anions. According to the test performed, the best results were obtained in the ferric soils (profile 17), with which 7 formulations of Tecnosols were performed and tested for water phosphates retention, a retention of 90.4% of water phosphates was obtained, concluding that this technique would be able to reduce the eutrophication conditions of the hydrographic system of Rio Grande.

KEY WORDS

- **EUTROPHICATION**
- **TECNOSOL**
- **PHOSPHATES**
- **PHOSPHORUS**

CAPÍTULO I

1. GENERALIDADES

1.1 Antecedentes

El Ecuador posee un potencial hídrico grande estimado en $16\,500\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ a nivel de cuencas y subcuencas, con una disponibilidad de agua en la vertiente del Pacífico de aproximadamente el 19%, mientras que el 81% le corresponde a la vertiente de la Amazonía (MAE, 2015). Desde 2012 Ecuador ha desarrollado una serie de megaproyectos para el control de crecidas, sequías, y proyectos hidráulicos de Propósito Múltiple en diferentes zonas del país. Sin embargo, la construcción de este tipo de proyectos podría generar afectaciones negativas en el medio ambiente, tal como pérdida de ecosistemas, destrucción de hábitats, y crecimiento explosivo de especies acuáticas que junto a las actividades antrópicas, conlleva que las aguas presenten en ocasiones problemas de eutrofización (Romero H. , 2014).

En algunos proyectos de represas del Ecuador ya se ha observado la colmatación de plantas acuáticas (lechuguines) sobre el espejo de agua, como es el caso de la represa de Chongón ubicada en Guayaquil (SENAGUA, 2017), Represa Poza Honda del cantón Santa Ana (Palma, 2011), y Presa Propósito Múltiple Chone inaugurada en 2015 (Bosco, 2015), en ésta última se centra el estudio del presente proyecto. Estos embalses han traído consecuencias sobre el deterioro de la calidad del agua. Adicional a ello, otras causas de contaminación del agua por actividades antrópicas se debe al crecimiento de la población humana, la expansión de la actividad industrial, actividades agrícolas y la amenaza del cambio climático que además afectan al ciclo hidrológico (ONU, 2014).

El deterioro de la calidad del agua, ha sido motivo de preocupación por lo que se han desarrollado técnicas de remediación ambiental tanto para aguas y suelos, como son los Tecnosoles, que comprenden un nuevo grupo de suelos creados entre 2006 y 2007, desarrollados por expertos de la Universidad de Santiago de Compostela (USC), España, estos científicos han desarrollado la técnica de aplicación de Tecnosoles creando suelos que ayudan a rehabilitar ambientes deteriorados o contaminados. El propulsor de esta técnica, es el científico Felipe Macías Vázquez.

Existen estudios previos sobre el uso de Tecnosoles para la recuperación de ambientes deteriorados, un ejemplo es la experiencia en la mina de Touro, ubicada en la comunidad autónoma de Galicia - España, siendo una mina a cielo abierto de yacimiento de sulfuros metálicos la cual fue explotada por un período de 14 años (1974-1988) para la obtención de cobre, por lo que provocó un daño ambiental crítico y la presencia de aguas ácidas. La restauración ambiental de esta mina la realizó el Dr. Felipe Macías mediante la aplicación de Tecnosoles, obtenidos gracias a la valorización biogeoquímica de residuos, los cuales presentaron una mejoría muy significativa (Macías & Nieto, 2012).

Se puede ejemplarizar también, el proyecto que se llevó a cabo para tratamiento de sistemas acuáticos eutrofizados, en el municipio de Xinzo da Limia ubicado en la provincia de Ourense en Galicia, donde se empleó Tecnosoles capaces de adsorber fosfatos en dos afluentes de As Conchas, mediante la utilización de bolsas permeables para los Tecnosoles y el montaje de una infraestructura de acero colocada en el cauce del río, obteniéndose en definitiva una retención del 90% de Fósforo en los ensayos realizados, confirmando las propiedades de los Tecnosoles (Bolaños, 2015) .

Partiendo de estos ejemplos, se realizó el estudio analizando el caso de la Presa Propósito Múltiple Chone (PPMCH), para diseñar Tecnosoles a nivel de laboratorio como una alternativa viable para disminuir los niveles de fosfatos (PO_4^{-3}) en el agua de la presa, así, disminuir la eutrofización de la misma y con esto limitar el crecimiento de plantas acuáticas (lechuguines).

1.2 Planteamiento del Problema

Uno de los principales problemas a los que se enfrentan los habitantes de Chone es el déficit de agua en época de estiaje y las inundaciones en época de lluvia, por consiguiente, se construyó la Presa Propósito Múltiple Chone (PPMCH) como una solución para satisfacer la demanda de riego en verano y dotar de agua potable para consumo humano, asimismo, para controlar las inundaciones de la ciudad en época de invierno (SENAGUA, 2011).

En la provincia de Manabí el 37,4% de la Población Económicamente Activa (PEA) se dedica a la actividad Agropecuaria, siendo ésta la actividad de mayor importancia económica. El cantón más grande de la provincia de Manabí es Chone, sus actividades económicas principales son la ganadería y la agricultura. Chone cuenta con 200 mil cabezas de ganado, siendo el más importante del Ecuador (Ministerio de Coordinación de la Producción, Empleo y Competitividad, 2011).

Por las actividades agrícolas y ganaderas que se desarrollan en el cantón existe la presencia de pesticidas, herbicidas y fertilizantes, que además, se juntan con los desechos orgánicos del ganado en el suelo y podrían estar ocasionando que grandes cantidades de Nitrógeno y Fósforo se concentren en este recurso, entonces resulta, que con la presencia de lluvias fuertes se ocasiona el lavado del suelo transportando estos elementos al agua del sistema hidrográfico de río Grande, lo que causa un exceso de nutrientes en el agua provocando el crecimiento acelerado de plantas acuáticas a la cual se denomina como eutrofización (FAO, 2017).

Otra de las posibles razones por las que existe presencia de Fósforo en el sistema hidrográfico de río Grande, es la formación geológica del cantón llamada onzole. Está conformada por arenisca, lutitas, limolitas y areniscas finas, así mismo, existe la presencia de rocas fosfóricas y de restos fósiles, de los cuales su componente principal es el fosfato cálcico, estos llegan a los suelos y aguas debido a la descomposición y a la erosión natural, razón por la cual, estarían aportando a la existencia de una cantidad alta de Fósforo en el agua de la presa (Burbano, Becerra, & Pasquel, 2015). En definitiva la eutrofización que existe en la presa ha provocado el deterioro en la calidad del agua de la PPMCH, por lo que una de las opciones es implementar Tecnosoles para el tratamiento del agua a partir de suelos recolectados del cantón para retener fosfatos.

1.3 Justificación e Importancia

Este proyecto está alineado en primer lugar con 2 objetivos del Desarrollo Sostenible propuestos por la ONU, el objetivo 6, que trata sobre garantizar la disponibilidad de agua su gestión sostenible; y el objetivo 11, que toca el tema de lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles. Igualmente, el proyecto propuesto sobre Tecnosoles también se encuentra relacionado con el Plan nacional de Buen Vivir para Ecuador al relacionarse con los objetivos 3 y 7, que son sobre mejorar la calidad de vida de la población y garantizar los derechos de la naturaleza respectivamente.

El agua almacenada en la PPMCH sirve de abastecimiento para los pobladores del sector, y su embalse es usado como medio de comunicación entre los pueblos aledaños y la ciudad. A pesar de la existencia de un plan de manejo del sistema hidrográfico de río Grande existe contaminación en el agua, esto se pudo constatar con una visita de campo a la ciudad de Chone donde se comprobó la existencia exagerada de plantas acuáticas (lechuguines), sobre el espejo de agua de la presa Figura 1, esto complica la navegación y el traslado de los campesinos por el embalse debido a que se toman el espejo de agua de forma acelerada, en aguas con exceso de nutrientes. El aumento en los nutrientes del agua que producen el crecimiento de estas plantas acuáticas probablemente podría ser las actividades agrícolas del cantón, la generación de excrementos y la utilización de fertilizantes ricos en Fósforo y Nitrógeno pueden estar aportando nutrientes extras al agua.



Figura 1 Espejo de agua de la PPMCH, visita de campo en febrero de 2017

El estudio está enfocado en la elaboración de Tecnosoles, que se usarán para disminuir las concentraciones de fosfatos del agua que llega a la PPMCH, así, intentar reducir las condiciones que causan la eutrofización en el agua que entre otras cosas produce principalmente el crecimiento excesivo de plantas acuáticas (lechuguines) que dificultan la potabilización del agua debido que supone un costo extra en el proceso, además, contribuye a la reducción de la demanda biológica del Oxígeno del agua lo que provoca que esta emane un olor putrefacto y un color verdoso (Palma, 2011).

La elaboración de Tecnosoles ayudará a disminuir las concentraciones de fosfatos evitando las condiciones de eutrofización y beneficiando a la población del cantón a mejorar su calidad de vida. La importancia del estudio radica en ser una tecnología nueva y verde en la descontaminación de agua y suelos, que además, está alineado a las nuevas políticas de conservación ambiental y resulta una opción viable para la valorización de residuos.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Diseñar Tecnosoles que sirvan para disminuir las concentraciones de fosfatos, desde el agua, en el sistema hidrográfico de Río Grande ubicado en el cantón Chone, donde funciona la Presa Propósito Múltiple.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar el agua, del sistema hidrográfico de río Grande con la determinación de los parámetros físicos y químicos: Potencial Hidrógeno (pH), potencial rédox (Eh), temperatura (T), conductividad eléctrica (CE), sulfatos (SO_4^{2-}), nitratos (NO_3^-), fosfatos ($\text{P} - \text{PO}_4^{3-}$), en dos épocas, lluvias y estiaje.
- Caracterizar el suelo mediante la medición de densidad aparente, real, porosidad, textura, pH, contenido de humedad y conductividad eléctrica en estratos de suelo. En dos épocas, lluvia y estiaje.
- Diseñar composiciones de Tecnosoles a partir de suelos de la zona y derivados celulósicos; aserrín y cáscara de arroz, que retenga fosfatos en el agua.

- Elaborar a escala de laboratorio las formulaciones de los Tecnosoles, a través de las isothermas de adsorción Langmuir y Freundlich.
- Analizar las concentraciones de Fósforo en los años 2013, 2014, 2016 y 2017 en función con las condiciones climáticas de la precipitación, evaporación y evapotranspiración en el sistema hidrográfico de río Grande para comparar los niveles de Fósforo existentes en éste sistema.
- Elaborar un mapa para ubicar los puntos donde existe una eutrofización acelerada en base a los resultados obtenidos.

1.5 Hipótesis

El Tecnosol diseñado a partir de muestras de suelo y derivados celulósicos del cantón Chone, elaborado a escala de laboratorio, retiene fosfatos desde el agua.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Calidad del Agua

El agua es un conjunto de compuestos orgánicos e inorgánicos indispensable para la vida de los seres vivos, la cual puede presentar variaciones químicas dependiendo de las condiciones externas y lugar de origen, es por esto que es trascendental analizar la calidad de la misma ya que puede verse afectada de manera directa o indirecta. Refiriéndose así a la calidad del agua como la condición de medir una serie de parámetros físico químicos y compararlos con valores preestablecidos que determinan si es un agua apta o no para el crecimiento y aprovechamiento de todos los organismos y seres vivos (Campos, 2003).

2.2. Principales parámetros físico-químicos para determinar la calidad del agua

Los parámetros físico químicos para la determinación de la calidad de agua se basan en una serie de datos analíticos de determinadas muestras de agua para ver si esta califica o es aceptable de acuerdo al uso que se le dé ya sea para riego de cultivos, consumo, piscicultura, entre otros. De acuerdo al tipo de parámetro y metodología estos permiten hacer comparaciones y análisis del agua a través del tiempo lo que permite medir los niveles de contaminación o recuperación de la misma (Orozco, 2011). Las principales características físico-químicas para determinar la calidad del agua de acuerdo a Campos (2003) y Orozco (2011) son:

- **Sólidos Suspendidos.-** refiriéndose a la cantidad de partículas orgánicas e inorgánicas que se encuentran suspendidas en el agua. Como impactos negativos estas pueden afectar la belleza escénica, ser superficie de adsorción para agentes químicos peligrosos.

- **Turbiedad.-** surge como consecuencia de sólidos suspendidos, siendo la turbiedad aquella que interfiere con el paso de la luz al agua afectando de manera directa el proceso de la fotosíntesis.
- **Color.-** distinguiendo dos clases de color: aparente y real, determinados por la cantidad de sólidos suspendidos y sólidos disueltos.
- **Olor.-** la existencia de minerales, metales pesados, sales, y materia orgánica provocan un conjunto de reacciones que dan lugar a la emanación de gases, y compuestos de azufre, siendo desagradables para el olfato.
- **Temperatura.-** la temperatura tiene efectos directos o indirectos sobre las reacciones químicas llevadas a cabo en el agua. El cambio de temperatura en el agua supone un aumento o decrecimiento de nutrientes, a mayor temperatura menos cantidad de oxígeno disuelto, siendo este inversamente proporcional.
- **pH.-** indica el comportamiento ácido o básico de un agua, por lo general las aguas naturales presentan valores de pH comprendidos entre 6,5 a 8,5.
- **Potencial Rédox (Eh).-** hace referencia a la actividad de electrones, para caracterizar la fuerza reductora u oxidante el agua.
- **Conductividad Eléctrica (CE).-** supone el paso de corriente eléctrica en el agua. Esta medida sirve para darse una idea de la cantidad de iones presentes en una disolución indicando si existe una alta o baja salinidad.
- **Metales.-** se encuentran metales con bajo grado de toxicidad como: sodio, hierro, magnesio, y otros con alto grado de toxicidad como: mercurio, arsénico, cadmio, zinc. Estos en cantidades altas afectan la salud humana.
- **Nutrientes.-** Los nutrientes más importantes están determinados por Fósforo y Nitrógeno. El exceso de estos nutrientes en el agua provocan la eutrofización. El Fósforo se encuentra en los ecosistemas acuáticos como fosfatos (PO_4^{3-}), y el Nitrógeno en iones nitratos (NO_3^-) y nitritos (NO_2^-).

2.3.Presencia de Fósforo en el agua

La presencia de Fósforo en el agua tiene lugar de forma natural debido a la geología de la zona y presencia de rocas fosfóricas que dan lugar a formaciones de fosfato de Calcio que al momento de lixiviarse se disuelven pequeñas cantidades en el agua y también debido actividades antrópicas, siendo esta la causa principal de

aportación de este nutriente a los cuerpos de agua. Entre las causas se encuentran principalmente descargas domésticas por la presencia de materia orgánica e inorgánica, escurrimiento de aguas de riego producto de la agricultura y ganadería debido a la utilización de fertilizantes (ricos en nutrientes: Nitrógeno, Fósforo y Potasio), vertidos industriales (Glynn & Heinke, 1999).

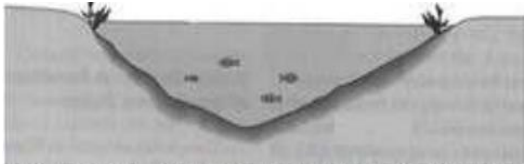

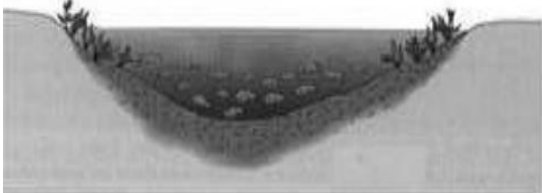
La provisión de Fósforo en el agua tiene un grado de importancia para el desarrollo biológico de ríos y lagos, ya que muchas plantas y animales necesitan este compuesto en forma de fosfatos (PO_4^{-3}), sin embargo, al existir una alta concentración de nutrientes en el agua se produce el crecimiento desmedido de plantas acuáticas principalmente algas lo que provoca la disminución de oxígeno disuelto, afectando la calidad de la misma y dando origen a la eutrofización del agua (Glynn & Heinke, 1999).

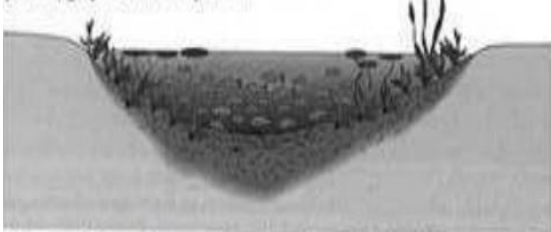
2.3.1. La Eutrofización

Se define como eutrofización al incremento de nutrientes (Nitrógeno y Fósforo), en un cuerpo de agua que provoca el crecimiento acelerado de las plantas. A pesar que este proceso se acelera por la presencia de Nitrógeno y Fósforo, el estado trófico de un río, lago o laguna está afectado principalmente por Fósforo, puesto que es considerado como elemento limitante para que se inicie la eutrofización (FAO, 2017), así pues para prevenir el posible desarrollo de especies indeseables y controlar la eutrofización acelerada de los cuerpos de agua el límite máximo permisible de ortofosfatos (PO_4^{-3}) según Jarvie y Withers (2013), es de 0.1 mg.L^{-1} .

La palabra eutrófico se lo utiliza para diferenciar aquellos ríos, lagos o lagunas en el cual existe un alto contenido de nutrientes y se caracterizan por el estancamiento de las aguas con una vasta vegetación de especies acuáticas. De acuerdo a la cantidad e importancia de impacto por la cantidad de nutrientes existentes en un río, se ha establecido una serie de criterios cualitativos para evidenciar el estado trófico como se observa en la Tabla 1.

Tabla 1
Características de ríos, lagos y lagunas para evidenciar el estado trófico

Estado	Características
<p data-bbox="512 454 675 488">Oligotrófico</p> 	<ul data-bbox="946 454 1394 927" style="list-style-type: none"> • Bajo nivel de productividad biológica • Agua clara, con pocas especies de plantas acuáticas • Escasos peces sin mucha flora y fauna con fondo arenoso • Fósforo total menor a $15 \mu\text{g.L}^{-1}$
<p data-bbox="512 985 675 1019">Mesotrófico</p> 	<ul data-bbox="946 985 1394 1346" style="list-style-type: none"> • Moderado nivel de productividad biológica • Moderada claridad del agua y plantas acuáticas • Fósforo total entre 15 y $20 \mu\text{g.L}^{-1}$
<p data-bbox="528 1391 659 1424">Eutrófico</p> 	<ul data-bbox="946 1391 1394 1939" style="list-style-type: none"> • Alto nivel de productividad biológica • Poca claridad de agua y buena cantidad de especies acuáticas • Gran potencial para soportar la gran cantidad de peces y vida silvestre • Fósforo total entre 25 y $100 \mu\text{g.L}^{-1}$

Estado	Características
<p style="text-align: center;">Hipertrofico</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Altísimos niveles de productividad biológica • Muy pobre claridad del agua y abundancia de plantas acuáticas • Potencial para soportar gran cantidad de peces y vida silvestre • Fósforo total superior a 100 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$

Fuente: (Moreno, Manzano, & López , 2010)

2.3.1.1 Efectos de la eutrofización

Algunos de los efectos que se perciben por causa de este fenómeno según FAO (2017) , afecta tanto a la biodiversidad acuática como a las personas entre ellos se tienen:

- Crecimiento excesivo de plantas acuáticas ocasionando la disminución del oxígeno en el agua, deterioro del paisaje, mortandad de peces.
- Incapacidad auto – depuradora del medio acuático
- Obstrucción de canales de riego por causa de las malas hierbas.
- Debido a la presencia de densas masas vegetales se dificulta la navegación de los pobladores que habiten en los alrededores de los cuerpos de agua.
- Pérdidas económicas, ya sea por pérdidas o daños en los medios de navegación, o pérdida por mortandad de peces.
- Aumento de gastos de operación para tratamiento de aguas.

2.3.1.2 Problemas de eutrofización en represas lagos y lagunas

La eutrofización afecta de manera directa a embalses o represas puesto que al existir el estancamiento del agua el caudal disminuye que junto a la aportación de nutrientes provenientes de diversas fuentes se convierten en aguas con un alto grado de actividad biológica favoreciendo procesos de colonización (Sierra, 2010) .

Un ejemplo de este problema se evidencia en la provincia de Imbabura - Ecuador, en la Laguna de Yahuarcocha, la cual presenta altos grados de turbidez, encontrándose en estado eutrófico, además de pérdida de nivel de agua y avistamiento de algas. El lago San Pablo ubicado en la misma provincia, también presenta problemas de eutrofización, sin embargo, las causantes principales de este fenómeno son la topografía del lugar por las altas pendientes, así como malas prácticas de laboreo en cultivos y actividades ganaderas (Da Ross, 1995).

Asimismo 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 provocando altos grado de turbidez en las aguas y por falta de una adecuada construcción de márgenes que provoca la acumulación de sedimentos, convirtiéndose en el ambiente perfecto para proliferación de algas y lechuguines. En las mismas condiciones se encuentran la represa Daniel Palacios ubicado en la provincia del Azuay, la represa Daule Peripa ubicado en la provincia de Guayas en la cual existe un extenso recubrimiento de lirios de agua (Da Ross, 1995). Por lo cual es importante la aplicación de medidas preventivas y correctivas tomando en consideración el estado trófico de represas, 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.

2.3.2 *Eichhornia Crassipes*, lechuguín

La *Eichhornia Crassipes* es una planta acuática con una alta capacidad invasora, es considerada como una mala hierba a nivel mundial. Es originaria de la cuenca del río Amazonas y lagos y lagunas del oeste de Brasil, fue descubierta por el naturalista C. Von Martius en el año 1823. Se la conoce comúnmente como Jacinto de agua, lechuguín, lirio acuático, buchón de agua, se encuentra distribuida por toda la zona tropical y subtropical (Arteaga Carrera, Cuéllar Marquéz, Ramirez Valencia, Ríos Gallego, & Giraldo Jaramillo, 2010).

2.3.2.1 Condiciones de propagación de la *Eichhornia Crassipes*.

El lechuguín se propaga con una rapidez alarmante, se puede duplicar el área ocupada por estas plantas en un tiempo de 6 a 15 días, su reproducción es de forma vegetativa por medio de estolones que desarrollan florescencias muy vistosas de colores azules o violetas, cada una de estas flores contiene alrededor de 400 semillas pequeñas que pueden volver a germinar (Arteaga Carrera, Cuéllar Marquéz, Ramirez Valencia, Ríos Gallego, & Giraldo Jaramillo, 2010).

Uno de los factores que favorecen al crecimiento del *Eichhornia Crassipes* es la existencia de aguas ricas en nutrientes, especialmente Fósforo, Nitrógeno y Potasio. El incremento de nutrientes en las aguas altera las condiciones iniciales de los ecosistemas, haciéndolos susceptibles a invasiones porque al eliminar la ventaja competitiva de las especies nativas las especies invasoras tienen superioridad de reproducción y sobrevivencia. La eutrofización provoca que esta especie se propague y amplíe su cobertura sobre el cuerpo de agua, la sombra que provoca impide el crecimiento de otras plantas macrófitas llegando a ser las predominantes en el ecosistema eutrofizado (Guevara Granja & Ramírez Cando, 2015).

La presencia de estas plantas acuáticas pueden llegar a disminuir la velocidad del agua hasta un 40% , esto y la descomposición de las hojas de estas plantas provocan la disminución del oxígeno disuelto del agua que provoca procesos anaerobios favoreciendo la movilización del Fósforo y los sedimentos dentro del cuerpo de agua (Guevara Granja & Ramírez Cando, 2015).

2.3.2.2 Consecuencias de la existencia de *Eichhornia Crassipes*.

Existen varias afectaciones a los ecosistemas además, de a las poblaciones que utilicen el recurso agua donde se encuentren estas especies de plantas invasivas algunas de las consecuencias más importantes según (Mironga, Mathooko, & Onywere, 2011) son:

- El ecosistema degradado se convierte en un foco infeccioso por los insectos y microorganismos patógenos que se puedan establecer, creando situaciones peligrosas para la vida.
- Debido a las enormes masas de plantas flotantes que se desarrollan se dificulta la navegación, la pesca e incluso se tapan los canales de riego.
- La existencia de esta especie disminuye la producción de fitoplancton del cuerpo de agua comprometiendo a la vida acuática.
- El impacto socioeconómico es importante porque la remediación acostumbrada que se da a estos ecosistemas dañados es muy costosa, igualmente, no muy eficaz porque lo que hacen es retirarla pero esta vuelve a nacer.

2.4. El Fósforo y las condiciones climáticas

2.4.1. El Fósforo y la lluvia

El Fósforo se encuentra de manera natural en las rocas, 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 presentes en las rocas siendo aprovechados por microorganismos, plantas y animales, mientras que en los ecosistemas acuáticos es aprovechado por peces, plantas acuáticas y organismos autótrofos, o al mismo tiempo quedan impregnados en los sedimentos de las aguas.

No obstante en zonas dedicadas a la ganadería y agricultura el suelo erosionado en presencia del aire y la lluvia es arrastrado a ríos, lagos, lagunas, y mares donde se depositan grandes cantidades de Fósforo estimulando el crecimiento de algas, lechuguines, y bacterias (Audesirk, Audesirk, & Byers, 2003). La intensidad de lluvias es un factor que aumenta el lavado de los suelos, por lo tanto, aumenta la movilidad de los nutrientes del suelo (Romero P. , 1972).

2.4.2. El Fósforo y la evaporación

El Fósforo difícilmente se disuelve en el agua por lo que no puede evaporarse, es por esto que este compuesto se encuentra en grandes cantidades en el suelo, el cual se adsorbe por partículas minerales y orgánicas del suelo. Por el contrario el Nitrógeno se disuelve fácilmente en el agua lo que facilita que se convierta en gas evaporándose, es por esto que el Nitrógeno se pierde en el ambiente con facilidad (van de Fliert & Braun, 2001).

2.4.3. El Fósforo y la evapotranspiración

La evapotranspiración al incrementarse junto con la evaporación y la temperatura provocan una disminución aproximada del 20% del nivel de aguas superficiales y subterráneas. Esa disminución conlleva a un aumento significativo de la eutrofización de las aguas donde el elemento limitante es el Fósforo, dificultando la calidad del agua de los embalses (UNESCO & Ile-de-France, 2016). De igual manera, según Carrera (2015), la química del agua superficial de los sistemas hidrográficos de río Grande ubicado en Ecuador, han determinado que en el periodo de estiaje donde predomina la evaporación y evapotranspiración, con respecto a la precipitación provocan el aumento de la composición química inorgánica de las aguas (Carrera, Crisanto, Guevara , & Maya, 2015).

2.5. Métodos de Remoción de Fósforo en el agua

La presencia de Fósforo en cuerpos de agua como se ha indicado anteriormente provoca el aumento de nutrientes y con esto el crecimiento de plantas acuáticas que traen consigo la eutrofización del agua, si esta agua se usa para uso o consumo humano va a traer graves afectaciones para la población que la utilice, según la (Organización Mundial de la Salud , 2006) debe existir guías para la calidad del agua potable sobre todo para la protección de la salud pública. “El agua es esencial para la vida y todos deben disponer de un abastecimiento satisfactorio.” En base a esto se ha comprobado que las plantas de tratamiento que usan procesos físico-químicos son capaces de remover Fósforo del agua solo si se encuentra sobre los 10 mg.L^{-1} , el problema de estos tratamientos es que generan una gran volumen de lodos contaminados que necesitan un tratamiento posterior para estabilizarlos haciendo de este método costoso

por todo lo que conlleva (Luna & Ramírez, 2004). Para evitar estos errores que tienen los tratamientos de aguas convencionales se han investigado varios métodos para la remoción de varios contaminantes, tomando en cuenta al Fósforo como contaminante a ser tratado los métodos existentes para su remoción son:

2.5.1. Métodos de los humedales artificiales.

El método de humedales artificiales fue creado en Europa donde su operación es muy frecuente con buenos resultados. Se utilizan especialmente para aguas residuales domésticas e industriales, pero con menor eficiencia en las segundas. A los humedales artificiales se los puede definir como un sistema que trabaja simulando el funcionamiento de humedales naturales que funcionan bajo condiciones controladas de construcción ubicación y capacidad de tratamiento (Romero, Colín, Sánchez, & Ortíz, 2009).

Según (Luna & Ramírez, 2004) los humedales artificiales están compuestos por tres componentes: “el medio filtrante o material de empaque, las plantas vasculares emergentes, los microorganismos que se desarrollan en el medio filtrante y en las raíces y rizomas de las plantas vasculares.” En la Figura 2 se muestra la estructura para el funcionamiento de humedales artificiales.

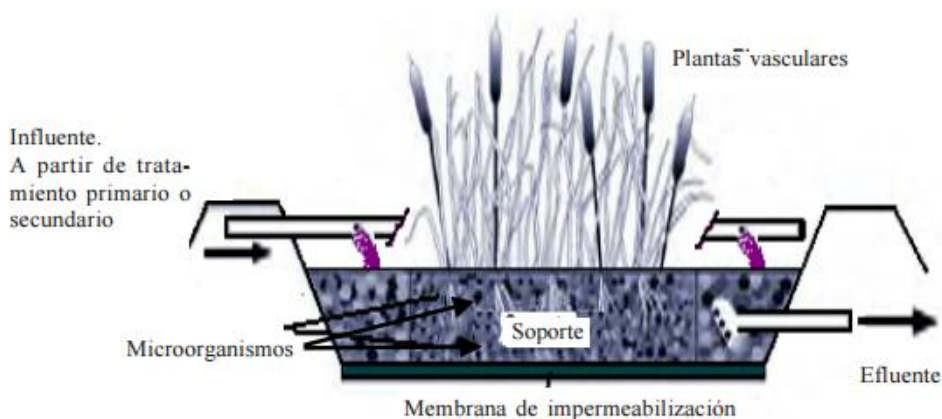


Figura 2 Componentes principales de un Humedal Artificial (HA)

Fuente: (Luna & Ramírez, 2004)

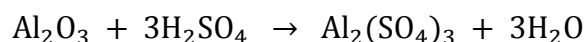
El funcionamiento básicamente consiste en hacer pasar el agua sintética por medio de una estructura o soporte que contiene el material filtrante que es este caso son las plantas vasculares, estas plantas también son el hogar de microorganismos depuradores, por la interacción de estos dos individuos se realiza la eliminación de la materia orgánica y nutrientes del agua. La retención de Fósforo se ejecuta porque este elemento se precipita y es adsorbido por las plantas que son específicas para que absorban nutrientes (Luna & Ramírez, 2004). Son un sistema de bajo costo de instalación que da un aspecto natural al paisaje al usar plantas, si está bien instalado y construido puede depurar sin problema aguas municipales, industriales y de lluvia. Tiene una eficacia mayor si con estos se tratan los problemas de sólidos suspendidos, nutrientes como el Fósforo y el Nitrógeno, además de la eliminación de hidrocarburos y metales del agua (Romero, Colín, Sánchez, & Ortíz, 2009).

2.5.2. Remoción de Fósforo empleando procesos anaerobios.

El Nitrógeno y es Fósforo están presentes en las aguas residuales principalmente si son aguas residuales domésticas, estos dos elementos combinados provocan un deterioro en los ecosistemas acuáticos aumentando la eutrofización el los cuerpos de agua que si son usados es uso y consumo provocan un malestar y un problema de salud pública. Para la remoción de estos dos elementos al mismo tiempo se puede ocupar procesos anaerobios en los que se vean involucrados microorganismos, bacterias capaces de almacenar Fósforo y Nitrógeno en altas cantidades para después convertirlas en energía que utilizan para reproducirse, por esto en el proceso se necesitan cámaras para controlar a las bacterias (González & Saldarriaga, 2008).

2.5.3. Sulfato de Aluminio para tratamiento de Fósforo en aguas residuales.

El sulfato de Aluminio es un una sal inorgánica de fórmula $Al_2(SO_4)_3$, esta puede venir en dos presentaciones, sólida o líquida, comúnmente de color blanco. Tiene varias aplicaciones en la industria, frecuentemente como floculante en la purificación de agua. El sulfato de Aluminio se consigue al reaccionar un mineral de Aluminio (caolín, bauxita, hidrato de Aluminio) con ácido sulfúrico y exponerlos a altas temperaturas, la reacción que se produce es:



Una de las aplicaciones más comunes de este compuesto es en el tratamiento de aguas residuales, por la eficacia que presenta en la eliminación del Fósforo del agua. Se utiliza normalmente en las plantas de tratamiento de agua residual, que pueden ser municipales o industriales. Este compuesto también clarifica el agua al precipitar los sólidos suspendidos, por esta razón también, es usado como coagulante en las plantas de agua potable para sedimentar los sólidos del agua (PQ Corporation, 2017).

2.6. El recurso Suelo y su uso.

El suelo es la capa de la corteza terrestre donde se desarrolla la vida, es un recurso finito esto hace que la pérdida y degradación de este recurso no sean reversibles. Es la unidad fundamental el desarrollo agrícola y la sostenibilidad ecológica, además esencial para la seguridad alimentaria de la humanidad debido que es el principal productor de alimentos, combustibles y muchos servicios eco sistémicos que mantienen el balance de la vida (ONU, 2015).

Para darle una buena capacidad al suelo para funcionar se debe tomar en cuenta que la capacidad de este para producir elementos esenciales es finita y limitada. El suelo cumple con muchas funciones y tiene varias características que se analizan para evaluar su calidad, como su productividad, calidad ambiental, fertilidad, su potencial y sostenibilidad. Gracias y todos estos aspectos podemos tener una idea mejor sobre su correcto manejo logrando una mejor utilidad y salud (Bautista, Etchvers, Del Castillo, & Gutiérrez, 2004).

El recurso suelo es de vital importancia para la vida pero la ciencia que lo estudia aún tiene mucho que descubrir, aunque ha tenido varios avances importantes entendiendo su comportamiento. Para entender cómo actúa el suelo y de esta forma poder aprovechar sus características al máximo es indispensable estudiar sus propiedades químicas físicas y biológicas, Una de las funciones más importantes del suelo es producir alimentos con el estudio del recurso se puede garantizar la sostenibilidad del entorno. Se necesita conocer también que la visión agronómica debe ir de la mano con la ambiental para provocar una estabilidad y lograr que este recurso se desarrolle y permita potenciar todos sus usos (Macías, 2015). Para conocer al suelo se necesita caracterizarlo con indicadores físicos, químicos y biológicos, entre los más importantes según (Bautista, Etchevers, del Castillo, & Gutiérrez, 2004) están:

- **La textura.**- al analizar la textura del suelo se puede inferir sobre la retención y transporte del agua y compuestos químicos.
- **Densidad aparente y real.**- esto se relaciona con la productividad, la erosión y la composición del suelo.
- **Porosidad.**- se relaciona con la retención de agua, transporte, y erosividad de los compuestos y contaminantes, además, de la humedad aprovechable, textura y materia orgánica existente en el suelo.
- **Materia orgánica.**- determina la fertilidad del suelo y su productividad.
- pH, influye en la actividad química y biológica del suelo y su interacción con el entorno.
- **Conductividad Eléctrica.**- define la salinidad y la actividad microbiana y vegetal.
- **N, P, K.**- Son los nutrientes necesarios para las plantas, se relaciona con la productividad e indicadores de la calidad ambiental.
- **Respiración, contenido de humedad y temperatura.**- tiene que ver también con la actividad microbiana y estima la actividad de la biomasa.

2.7. El suelo como sumidero de Carbono.

El incremento exponencial que se ha vivido en la producción de residuos a nivel mundial pone al suelo como una alternativa en la gestión de los mismo debido a que de todas las alternativas resulta la de menor costo, también, se puede decir que tiene ciertos beneficios indirectos en el suelo como la adición de nutrientes, la fijación de C, el incremento de la actividad biológica, etc. Que podrían compensar de cierta forma las consecuencias negativas de usar al suelo como gestor en la producción de residuos. Hay que tomar en cuenta que al aportar al suelo grandes cantidades de restos provenientes de la agricultura, ganadería agrícolas, de industrias o desechos urbanos pueden llegar a causar grandes problemas de contaminación en el suelo convirtiéndolo de sumidero a una fuente importante de contaminantes. (Macías, 2004)

2.8. Los Tecnosoles

Es una nueva tecnología creada por un grupo de expertos de la Universidad de Santiago de Compostela-España, encabezado por el Dr. Felipe Macías catedrático de la universidad, este concepto nació de la idea del edafólogo Wim Sombroekuno sobre las “Terras Petras” que corresponden a suelos que han sido creados de manera antrópica por las actividades humanas seguramente de forma inconsciente pero que tiene extraordinarias propiedades productivas y de fertilidad, la idea de este edafólogo fue reproducir estas tierras de manera voluntaria para que los granjeros pudieran mejorar sus cultivos y su producción pero Win murió antes de cumplir con su sueño (Macías, 2015).

Tecnosol es una palabra compuesta (teco: tecnología; sol: suelo). Consiste en la creación de nuevos suelos aplicando conocimientos amplios sobre edafología o ciencia del suelo, además de la biogeoquímica las cuales se complementa con el uso de la tecnología (Caballero, 2011). Para poder poner en práctica esta tecnología se necesita conocer los mecanismos de estabilización de los suelos naturales para imitarlos de la forma más parecida con mezclas de residuos, estos pueden ser orgánicos o inorgánicos pero que al utilizarlos permitan el funcionamiento del suelo y ayuden a una mejora ambiental. (Macías & Camps Arbestian, 2009). Se toma en cuenta como Tecnosol a un suelo que tenga un porcentaje de materiales aditivos o “artefactos” mayor al (20 o 30) %, además de una geomembrana construida o roca dura (WRB, 2007) .

Los Tecnosoles se elaboran creando mezclas diversas tratando de emular las condiciones naturales de los suelos y que estos cumplan las mismas funciones, los residuos que se utilizan para su elaboración son de dos tipos: los fermentables que aportan la materia orgánica al Tecnosol 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 (Macías & Camps Arbestian, 2009).

2.8.1. Usos de los Tecnosoles

La técnica de la realización de Tecnosoles consiste en aprovechar todo tipo de desechos con un previo tratamiento, si es necesario para evitar que estos sean contaminantes o tóxicos para el ambiente haciendo que sea una práctica sostenible, a partir de ellos se elabora con diferentes formulaciones físico-químicas el suelo deseado para aplicarlo a cada zona degradada o contaminada (Macías & Camps Arbestian, 2009).

El desarrollo de Tecnosoles sirve para solucionar problemas concretos como pueden ser pH de terrenos, eutrofización en agua, metales pesados, contaminación con arsénico o con diferentes metales, etc. Cada Tecnosol es realizado con fin un específico. Estos suelos artificiales están diseñados para que puedan realizar funciones ambientales y productivas como los suelos naturales. El objetivo de estos suelos es utilizarlos en situaciones de deterioro ambiental probablemente irreversible a nivel humano y no se permite su uso dentro de áreas de protección natural. Para que los resultados en el empleo de estos suelos modificados o “Tecnosoles a la carta” (Macías , Macías-García, & Camps Arbestian, 2007) sea el adecuado es importante conocer el estado inicial del lugar donde se planea usarlos, además de las características de los residuos elegidos y su evolución en el tiempo para que cumplan con las condiciones de sostenibilidad requeridas (USC; Xunta de Galicia; FEUGA; Unión Europea, Fondo de desarrollo Nacional; Instituto Politécnico de Viana do Castelo;, 2010).

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 (USC; Xunta de Galicia; FEUGA; Unión Europea, Fondo de desarrollo Nacional; Instituto Politécnico de Viana do Castelo;, 2010), además según (Macías & Camps Arbestian, 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 industrializadas, lugares con una degradación ambiental el general.

- Disminuir en grandes cantidades las emisiones de gases de efecto invernadero que se producen en la gestión de residuos principalmente el CO₂, el CH₄, y el NO_xa, al remplazar los métodos de incineración, vertido y compostaje.
- La valorización de residuos y las garantías sanitarias de la utilización de los mismos.

2.8.2. La mina de Touro

La Mina de Touro, se encuentra situada entre los ayuntamientos de El Pino y Touro a 20 minutos de Santiago de Compostela, el objetivo de esta mina fue la explotación a cielo abierto para la extracción de Cu, la actividad en esta mina se realizó entre los años 1974-1988. Después del cese de actividades en Touro fue abandonada dejando un deterioro ambiental notable con tres tipos de superficies: cortas extractivas, escombreras y balsas de lodos de flotación, además de una falta de vegetación que al exponer al suelo provocó la pérdida del mismo. Al quedarse la superficie sin suelo ni vegetación se provoca una oxidación de los sulfuros metálicos provocando el origen de aguas hiperácidas. Por esta contaminación los suelos y aguas de la mina no podían cumplir con las funciones ambientales básicas ni podían tener mecanismos de generación espontánea provocando que este deterioro se mantenga por muchos años siendo una fuente alta de contaminantes (Bolaños , Verde, Macías-García, & Macías, 2014).

La recuperación de las 600 ha de la mina que fueron explotadas se procedió con la utilización de una combinación de varios tipos de Tecnosoles dependiendo del problema a tratar y la de humedales reactivos con Tecnosoles. Así la recuperación ecológica está siendo posible porque el suelo utilizado logra neutralizar los efectos tóxicos, deficiencias nutritivas y permite el desarrollo sostenido de actividad biológica (Macías & Nieto, 2012). La recuperación que se ha efectuado con esta tecnología ha reducido significativamente los principales contaminantes existentes en la mina abandonada haciendo que las aguas hiperácidas de un pH de 3 pasen a un pH neutro de 7 permitiendo el desarrollo de una cadena trófica compleja. Gracias a los resultados logrados en la Mina de Touro se demostró que el uso de Tecnosoles es una opción muy viable para la recuperación ambiental, si bien, aún falta para la recuperación completa de la mina el avance es muy visible y alentador como se muestra en la Figura 3 (Bolaños , Verde, Macías-García, & Macías, 2014).



Figura 3 Evolución de la Mina de Touro con Tecnosoles.

Fuente: (Macías & Nieto, 2012)

2.8.3. Valorización de residuos

Este es un concepto que ha venido tomando fuerza las últimas décadas por el llamado cambio climático o calentamiento y por la preocupación de reducir el volumen de basura, al ser el suelo a donde van a parar la mayor parte de los residuos producidos en el planeta se tiene la visión del suelo como principal sumidero terrestre de carbono y con esto la necesidad primordial de recuperarlo (Macías, 2015).

Como la generación de residuos en la actualidad es inevitable a estos se los debe pasar a ver como una alternativa de material reusable que dependiendo de su tipo y su origen se la puede utilizar como materia prima, energía limpia como la biomasa o como aportación de nutrientes, asimismo, se los puede tratar de una manera técnica y devolverlos al mercado haciendo que sean económicamente interesantes (Ibáñez & Mario, 2002).

La valorización de residuos se utiliza como principal característica en la elaboración de Tecnosoles, que través de procesos naturales ponen a estos residuos en lugares justos donde se aprovechan sus propiedades y se vuelven eficientes asegurando las garantías sanitarias necesarias para proteger la salud humana y mejorando notablemente los ecosistemas degradados (Macías, 2015).

2.8.4. Características del aserrín

El aserrín es un material de origen orgánico proveniente de la madera, está compuesto por lignina, celulosa y hemicelulosa. Debido a su composición orgánica el aserrín es considerado como un material de bioadsorción capaz de interactuar con algunas especies contaminantes. El principal uso que se le ha dado al aserrín como una técnica de remediación ecológica ambiental es para la eliminación de aceites pesados (Jiménez & Padilla , 2012). De igual forma el aserrín ha sido empleado para tratamiento de aguas residuales de curtiembres para captación de Cr (VI) teniendo resultados eficientes con una capacidad de adsorción aproximada del 90% de este compuesto (Prado, *et al.*, 2012). Por lo mencionado anteriormente se considera que el aserrín es un material adsorbente de bajo costo con un alto grado de adsorción para ciertos contaminantes.

2.8.5. Características de la cascara de arroz

La cascarilla de arroz es un material de tipo orgánico constituido por lignina 12% a 16%, celulosa 43% a 49 %, hemicelulosa 23% a 28%, cenizas 15% a 20%, y sílice 9% a 4%. De acuerdo a sus características físicas es un material liviano con una baja densidad, que tiene buena conductividad hidráulica, con alto grado de aireación (Mayorga & Carrera, 2015). Este derivado celulósico posee características capaces de inhibir el crecimiento de algas en aguas superficiales provocando una reducción significativa de las mismas (Mariraj, 2012), debido a los efectos de compuestos fenólicos liberados naturalmente por la cascara de arroz (Shahabuddin, *et al.*, 2012).

2.9. La adsorción

Se entiende por adsorción al proceso por el cual una determinada especie química conocida como adsorbato que se presenta en una fase líquida, se pone en contacto con una especie química llamada adsorbente que generalmente se lo presenta en fase sólida, al ponerlas en contacto la especie con un grado superior de condensación tiende a retener en su superficie a la especie menos condensada sobre todo si esta presenta poros en su estructura (Calahorro, 2005).

2.9.1. Factores que influyen en la adsorción

La superficie y el tamaño de los poros que tenga el adsorbente son factores importantes que determinan la disponibilidad de adsorción que tendrá al adsorbente. Esto se da por una relación inversa en la cuál a menor tamaño de poro mayor será la superficie disponible para el proceso de adsorción. El carbón activado es más común de los adsorbentes comerciales, se lo realiza a partir de varios materiales orgánicos como cáscara de coco, madera, semillas, etc. Estos son sometidos a altas temperaturas en ambientes privados de oxígeno. Se utiliza comúnmente en el tratamiento de agua (Gueu, Yao , Adouby, & Ado, 2007). En la Figura 4 se muestra el mecanismo de adsorción.

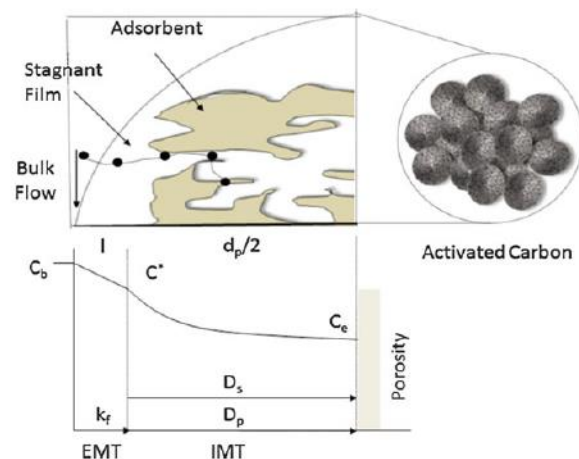


Figura 4 Transferencia de masa y procesos de adsorción

Fuente: Servos Mark, 2014

2.9.2. Isotermas de adsorción

Las isotermas de adsorción se utilizan para cuantificar la cantidad de adsorbato que un adsorbente puede adsorber en condiciones de equilibrio y temperatura constante. Si se realiza un experimento que varíe la dosis de adsorbente y la concentración de adsorbato inicial, la concentración de adsorbato en fase sólida de equilibrio puede calcularse y puede establecerse una relación con la concentración en fase líquida de equilibrio. Esta relación de equilibrio de adsorción se denomina isoterma y permite calcular la capacidad de adsorción del adsorbente en cualquier fase y concentración de adsorbato (Servos , 2014). Muchos modelos se pueden utilizar para

describir el fenómeno de adsorción, sin embargo los más utilizados por los investigadores son los propuestos por Langmuir y Freundlich (Rivas , Núñez, Longoria, & Gonzáles , 2014). La capacidad de equilibrio se calcula utilizando la ecuación 1:

$$q_e = \frac{V}{M} (C_0 - C_e) \quad (1)$$

Donde:

q_e es el equilibrio de concentración del adsorbato en $\frac{mg}{g}$,

C_0 es la concentración inicial del adsorbato en $\frac{mg}{L}$,

C_e es la concentración en equilibrio del adsorbato,

V es el volumen de la solución acuosa en L,

M es la masa de adsorbente en g.

2.9.2.1. Isotermas de Langmuir

Las isotermas de adsorción de Langmuir describen un equilibrio químico reversible entre especies a ser adsorbidas y la superficie del adsorbente de la solución. La reacción química define las especies de adsorbato, las cuales se acomodan en los sitios de la superficie que se encuentran vacíos. Se supone que la reacción tiene un valor constante para la energía que se libera en todos los sitios de superficie. Cada sitio es capaz de unir solamente una molécula, en otras palabras, el modelo sólo permite la acumulación de adsorbatos hasta una monocapa sobre el adsorbente (Servos , 2014). La ecuación 2 muestra el equilibrio y se escribe como:

$$\frac{C_A}{q_A} = \frac{1}{b_A Q_M} + \frac{C_A}{Q_M} \quad (2)$$

Donde:

q_A es igual a la cantidad de soluto adsorbido por peso unitario de adsorbente en

$\frac{mg \text{ de adsorbato}}{g \text{ del adsorbente}}$

Q_M es la Capacidad máxima de saturación de adsorción cuando la superficie del adsorbente está saturada con adsorbato en $\frac{mg \text{ de adsorbato}}{g \text{ del adsorbente}}$,

C_A es la concentración del adsorbato en la solución en equilibrio en es la fase adsorbente de equilibrio en $\frac{mg}{L}$.

La ecuación de Langmuir se da como resultado de un análisis cinético general de las reacciones que se dan en la superficie del adsorbente suponiendo que la energía que se libera en la superficie del adsorbente es homogénea y que esta tiene un número definido de poros que sirven de centros de adsorción los cuales pueden adsorber por fuerzas de tipo físicas o químicas, llagando a crear una monocapa de moléculas que han sido adsorbidas en las cuales no existe una interacción (Calahorro, 2005).

2.9.2.2. Isotermas de Freundlich

Según (Servos , 2014) la ecuación de isotermas de adsorción de Freundlich puede usarse para modelar datos de adsorbentes heterogéneos y es un mejor ajuste para los datos isotérmicos la ecuación 3 está dada por las ecuaciones 4 y 5:

$$q_a = K_A + C_A^{\frac{1}{n_A}} \quad (3)$$

$$\text{Log } q_a = \text{Log } K_A + \frac{1}{n} \text{Log } C_A \quad (4)$$

$$n = \frac{\Delta H^0_M}{RT} - \frac{r\Delta H^0_{ad}}{R} \quad (5)$$

Donde:

q_a : es igual a la cantidad de soluto adsorbido por peso unitario de adsorbente

$$\text{en } \frac{mg \text{ de adsorbato}}{g \text{ del adsorbente}},$$

K_A : es el parámetro de capacidad de adsorción o constante de adsorción de Freundlich $\frac{mg}{g}$,

C_A : es la concentración del adsorbato en la solución en equilibrio en es la fase adsorbente de equilibrio en $\frac{mg}{L}$,

ΔH^0_M : es la energía del sitio en $\frac{J}{mol}$,

R : es la constante universal de gases ($8.314 \frac{J}{K \cdot mol}$),

ΔH^0_{ad} : es el cambio de entalpía del sitio en $\frac{J}{mol}$

2.9.2.3. Isotermas de Sips

La isoterma de Sips está siendo usada en reemplazo de las isotermas de Freundlich y Langmuir, que son hasta ahora las más comunes para modelar el fenómeno de adsorción. Esta isoterma es una combinación entre las expresiones de Langmuir y Freundlich deducidas para predecir los sistemas de adsorción heterogéneos. El comportamiento de esta isoterma es que a bajas concentraciones de adsorbato, se reduce a la isoterma de Freundlich, en tanto que en altas concentraciones, predice una monocapa de adsorción característica de la isoterma de Langmuir. Como regla general, los parámetros de la ecuación se rigen principalmente por las condiciones de funcionamiento del sistema tales como la alteración del pH, la temperatura y la concentración (Foo & Hameed, 2010).

2.10. Métodos de Interpolación para realizar los mapas de distribución espacial

La interpolación espacial consiste en estimar valores de datos desconocidos a partir de un conjunto de datos conocidos, basados en una serie de procedimientos matemáticos. Se pueden estimar valores de distintas variables tales como: elevación, precipitación, concentración, ondulaciones geoidales, niveles de ruido, etc. Las herramientas de interpolación se encuentran definidas por dos tipos de métodos que son: determinísticos y no determinísticos (Coaguila , Tangerino, Da Silva , & Goncalves, 2013).

- Método Determinístico: se basa en modelos y formulaciones matemáticas en donde se asignan valores a partir de datos adyacentes o circundantes creando un modelo de entorno simulado. Entre los métodos determinísticos se pueden

encontrar IDW (Inverso a la distancia ponderada), Spline, Vecinos naturales. (ESRI, 2017).

- Método no determinístico (estocásticos): se basa en el uso de herramientas estadísticas y probabilísticas generando datos más fiables lo que conlleva al resultado de un modelo geográfico más preciso. El método de Interpolación más utilizado y avanzado es Kriging (ESRI, 2017).

2.10.1. IDW

Es un método matemático que supone que los objetos que están más cerca serán más parecidos como se muestra en la Figura 5, por lo que la influencia de un punto en relación a otros se irá reduciendo en función de la distancia del punto desconocido que se espera estimar (Villatoro, Henríquez, & Sancho, 2008) . El modelo matemático se expresa de la siguiente forma como se observa en la ecuación 6:

$$Z(S_0) = \sum_{i=1}^N \gamma_i * Z(S_i) \quad (6)$$

Donde:

$Z(S_0)$: Valor a estimar

N: Número de muestras circundantes del punto a predecir

γ_i : Peso asignado a cada uno de los puntos vecinos

$Z(S_i)$: Valores medidos

El peso asignado a los puntos vecinos está dado por la ecuación 7 siguiente dada la siguiente expresión:

$$\gamma_i = \frac{d_{io}^{-p}}{\sum_{i=1}^N d_{io}^{-p}} \quad (7)$$

Donde:

d : Distancia entre lugar de predicción (S_0) y (S_i)

p : Factor de reducción de peso

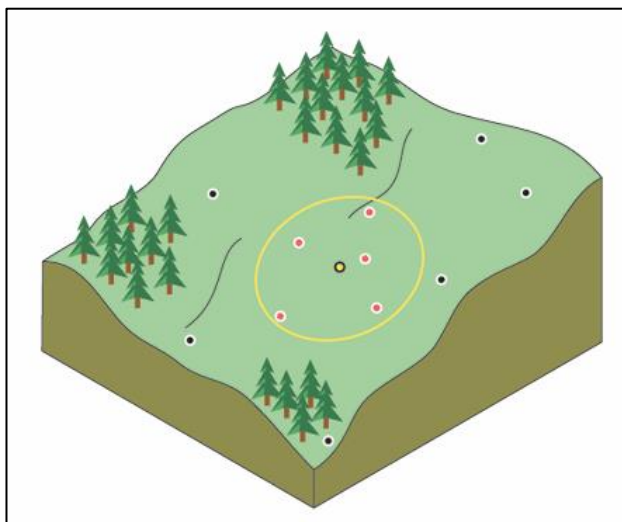


Figura 5 Aplicación de IDW

Fuente: ESRI, 2017

La aplicación de este método puede suponer algunas desventajas puesto que si los datos obtenidos presentan desigualdades o inconsistencias la calidad del modelo geográfico puede disminuir, a más de que los puntos estimados dependerán del área de valores conocidos que abarque, pues de no ser así puede evidenciarse la presencia de picos u óyelos alrededor de los puntos (QGIS, 2017) .

2.10.2. Spline

Este método se adapta a una superficie flexible, como si se estuviera estirando una hoja de caucho a través de todos los valores de puntos conocidos, matemáticamente logra minimizar la curvatura general de una superficie por flexión, dando lugar a una superficie suave. Este efecto de estiramiento es útil si se desea valores estimados que están por debajo del mínimo o por encima de los valores máximos encontrados en un conjunto de datos (ESRI, 2017) .

2.10.3. Vecinos naturales

Es el método de interpolación más sencillo y rápido requiriendo menor tiempo de procesamiento, también llamado método del vecino más próximo, basa sus estimaciones empleado el valor del pixel más cercano para interpolar el valor de un pixel del siguiente nivel (Pérez, *et al.*, 2011), también conocido como interpolación de Sibson.

2.10.4. Kriging

Kriging es un método de interpolación basado en herramientas geoestadísticas, que emplea una correlación entre puntos ubicados geográficamente. Kriging sigue tres procesos principales que son: análisis estadístico de datos, variogramas, la simulación de la superficie estocástica proporcionando medidas más precisas (Peña, 2000). Para la implementación de este método, se debe considerar que el conjunto de puntos sean estacionarios, la distancia entre puntos, la continuidad de los datos, y la posición de los mismos garantizando calidad en cada punto (Zavaleta, 2010) . El modelo matemático es similar a IDW pues se asume que son una combinación lineal como se presentó en la ecuación 6, sin embargo, γ_i toma en consideración a más del peso asignado a cada uno de los puntos vecinos el cual depende de la distancia de punto a punto y ubicación, la disposición espacial en donde la correlación debe estar cuantificada (Figura 6).

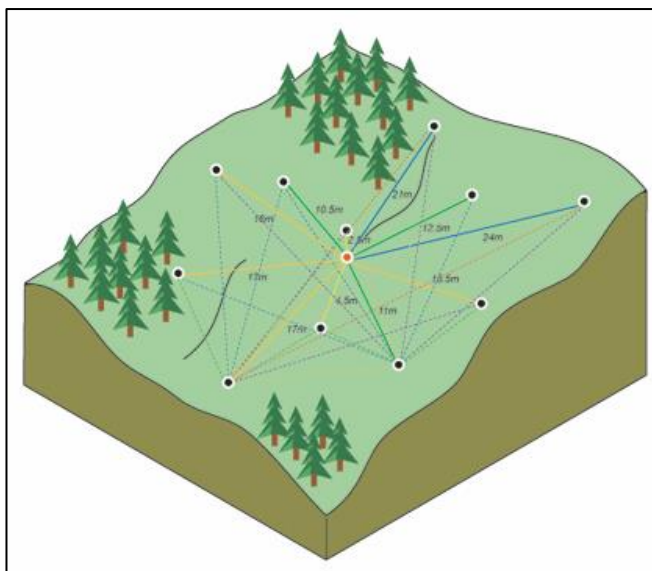


Figura 6 Implementación Kriging Ordinario

Fuente: ESRI, 2017

2.11. Correlación de variables

La correlación estadística es una técnica empleada para medir el grado de asociación que existe entre dos o más variables. El cual está definido por el factor de correlación R , el cual presenta valores comprendidos entre -1 a 1 ver Figura 7, si R toma el valor de 1 esto quiere decir que existe una correlación positiva por lo tanto es directamente proporcional siendo una correlación perfecta, si por el contrario R toma valor de -1 indica que existe una correlación perfecta e inversamente proporcional y si R toma el valor de 0 indicará que son variables independientes y no existe dicha correlación (Pedroza & Dicovskyi, 2006).

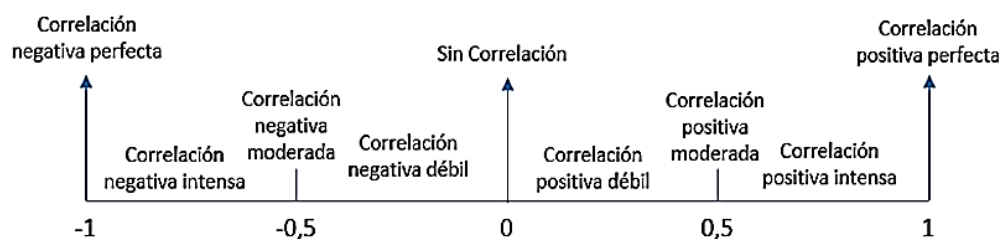


Figura 7 Interpretación del coeficiente de correlación

Fuente: Libro de Estadística para la Administración y Economía, 2004

2.12. Análisis con regresiones

El análisis por medio de regresiones está estrechamente vinculado con la correlación de variables, la diferencia radica en que las regresiones permiten generar pronósticos o modelos de predicción para lo cual hay que definir la variable dependiente Y , y n número de variables independiente X_1, X_2, \dots , las cuales van a ocupar el rol de predecir el modelo estadístico. Este análisis también permite determinar la relación existente de las variables independientes con la variable dependiente y el grado de significancia de cada una de estas de tal manera que permita comprender si las variables independientes aportan sustancialmente a predecir el modelo propuesto (Pérez, Caso, Río, & López, 2012).

2.12.1. Regresión lineal simple

El modelo de regresión lineal simple permite explicar el comportamiento de una variable dependiente Y, a partir de una variable independiente X, por medio de una relación lineal en donde el modelo matemático está dado por la ecuación 8:

$$Y = a + bx \quad (8)$$

Donde Y es la variable dependiente, a y b son constantes llamadas coeficientes de regresión y x la variable independiente o de predicción (Baeza & Vázquez, 2014).

2.12.2. Regresión lineal múltiple

A diferencia del modelo de regresión lineal simple, este modelo permite la entrada de n número de variables independientes que permiten en conjunto explicar la variable dependiente y mejorar el modelo teniendo estimaciones más precisas, siendo útil para explicar fenómenos que dependen de ciertos factores externos o se ven afectados por estos (Taucher, 1997). El modelo matemático está dado por la ecuación 9:

$$Y = B_0 + B_1X + \dots + B_kX_k \quad (9)$$

Donde Y es la variable dependiente, B es el coeficiente de regresión poblacional correspondiente a la i-ésima variable y X variables independientes o causales. Algunos criterios a tomar en cuenta para la aplicación de este modelo son:

- Los datos tienen que tener un sentido numérico y ser normales
- No introducir variables basura o repetidas
- Para introducir una variable al modelo debe haber una justificación teórica

CAPÍTULO III

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Descripción del área de estudio

El cantón Chone se encuentra en la provincia de Manabí ubicado en las costas del Pacífico con una población de 126 492 hab. Presenta un clima cálido seco en verano, comprendido entre los meses de junio a noviembre, con temperaturas que varían entre los 23 y 28 grados Celsius. En época invernal, que va comprendido entre los meses de diciembre y mayo, se tiene temperatura que alcanza los 34 grados Celsius, calificándola como una zona de condiciones climáticas extremas e inestables, con precipitaciones anuales que en ocasiones superan los 3.500 mm por año, cuando se presenta situaciones como las del fenómeno El Niño y, menores a los 500 mm, en los años en los que se presentan con características de años secos -La Niña (Ministerio de Coordinación de la Producción, Empleo y Competitividad, 2011) .

Por la intensidad de las precipitaciones, Chone es una zona con alto riesgo de inundaciones en época de lluvia. Es por esto que se construyó e inauguró, en diciembre del 2015, el Proyecto Presa Propósito Múltiple Chone, la cual, está ubicada en la confluencia del Río Grande como se puede observar en la Figura 8. Uno de sus propósitos principales de este proyecto es mitigar los efectos de las inundaciones en el cantón Chone y la zona de influencia de Río Grande, así como también abastecer de agua para uso y consumo a la población del cantón (Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, 2016).

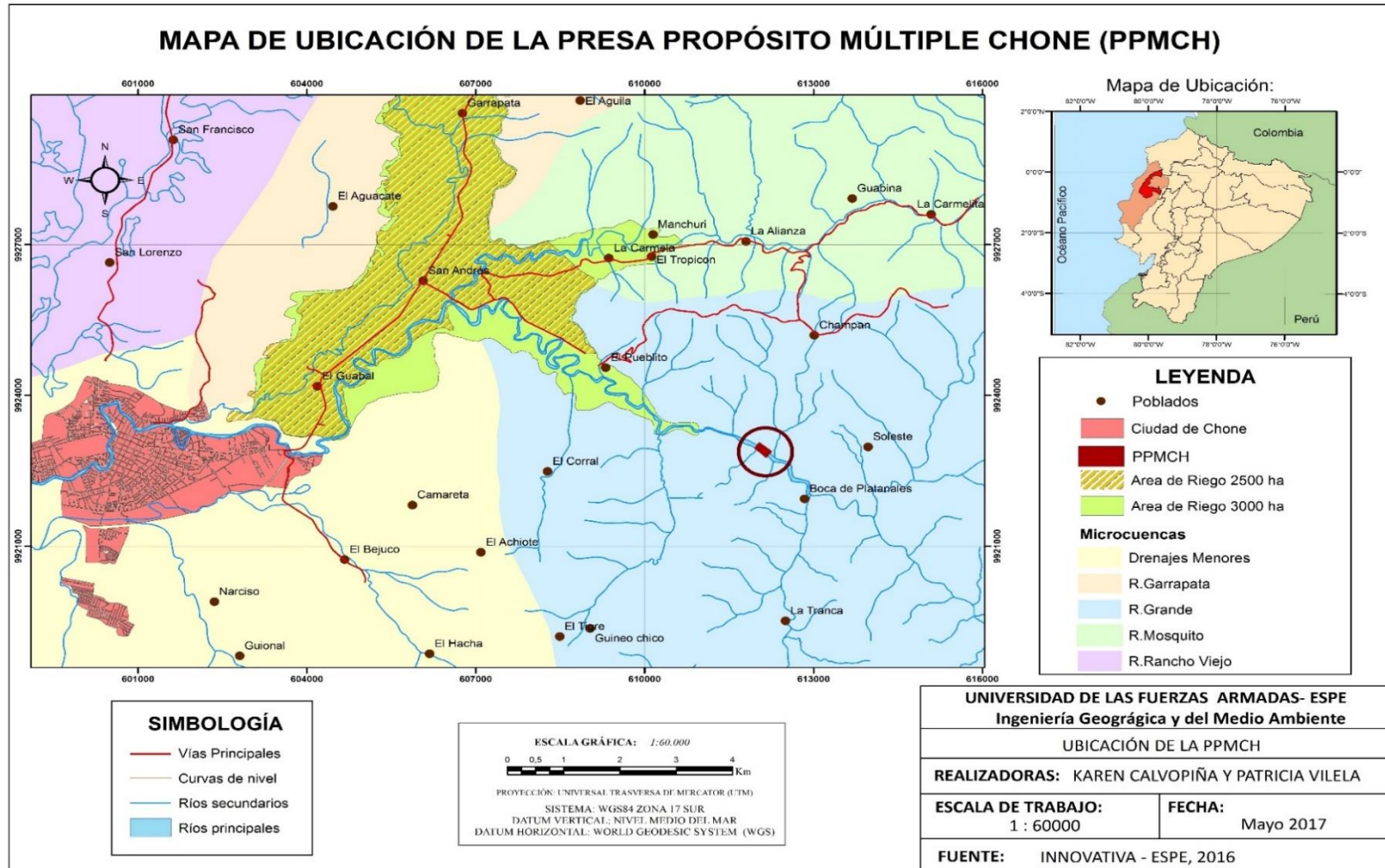


Figura 8 Mapa de ubicación de la PPMCH, en el cantón Chone

3.2 Muestreo y análisis de agua

3.2.1 Toma de muestras

El muestreo de aguas se realizó a lo largo de río Grande, cantón Chone, provincia de Manabí. Se hizo en base a la norma INEN 2169:98 de Calidad del agua, muestreo, manejo y conservación de muestras y a la norma 2176:98 de Calidad del agua, muestreo y técnicas de muestreo. Los puntos de muestreo se ubicaron aguas arriba de la PPMCH, y en los afluentes Garrapata, Cañitas y Mosquito (Anexo 1 y 2). Se definieron 26 puntos, los muestreos se realizaron en las dos épocas representativas del año, en la Figura 9, se muestra la ubicación de los puntos de muestreo tomados en total.

El primer muestreo fue tomado en el mes de agosto de 2016, correspondiente a época de sequía, con un total de nueve puntos de muestreo y, el segundo, tomado en el mes de febrero de 2017 correspondiente a época de lluvia, con un total de 17 puntos de muestreo, debido a que en esta época el sistema hidrográfico de río Grande presentó un aumento acelerado de la eutrofización (Carrera *et al.*, 2015).



Figura 9 Mapa de puntos de muestreo en el Sistema Hidrográfico de Río Grande

La descripción y ubicación de los puntos de muestreo se detalla en la Tabla 2, tomados en época de estiaje y época de lluvia. El presente estudio contó con informaciones adicionales tomadas de los años 2013, 2014, 2016 y 2017 para comparar los niveles de fosfatos existentes en el sistema hidrográfico de río Grande, puesto que este compuesto es el causante de eutrofización en las aguas superficiales.

Tabla 2
Descripción y ubicación de los puntos de muestreo de agua

N° Punto	X	Y	ALTURA (msnm)	DESCRIPCIÓN	FECHA		
1	619217	9920114	41	Estero El Regreso	31-08- 2013	05-02- 2014	24-08- 2016
2	619198	9920128	59	Estero El Regreso	31-08- 2013	05-02- 2014	24-08- 2016
3	621274	9920260	84	Estero El Aposento	31-08- 2013	05-02- 2014	24-08- 2016
4	621274	9920258	96	Estero El Aposento	31-08- 2013	05-02- 2014	24-08- 2016
5	617091	9918550	56	Río Grande	31-08- 2013	05-02- 2014	24-08- 2016
6	617091	9918544	62	Río Grande	31-08- 2013	05-02- 2014	24-08- 2016
7	618254	9918772	63	Intersección río Grande y río Cañitas	31-08- 2013	05-02- 2014	24-08- 2016
8	618436	9918550	61	Río Grande	31-08- 2013	05-02- 2014	24-08- 2016
9	620150	9917594	49	Río Grande	31-08- 2013	05-02- 2014	24-08- 2016
10	611624	9923151	34	Embalse PPMCH	31-08- 2013	05-02- 2014	23-02- 2017
11	612953	9922030	40	Río Grande	31-08- 2013	05-02- 2014	23-02- 2017

N° Punto	X	Y	ALTURA (msnm)	DESCRIPCIÓN	FECHA		
12	614059	9921570	36	Intersección río Grande con río Platanales	31-08-2013	05-02-2014	23-02-2017
13	614579	9920990	47	Intersección río Grande con estero el Jobo	31-08-2013	05-02-2014	23-02-2017
14	615292	9920250	42	Río Grande	31-08-2013	05-02-2014	23-02-2017
15	615846	9919650	43	Río Grande	31-08-2013	05-02-2014	23-02-2017
16	616320	9919240	46	Río Grande	31-08-2013	05-02-2014	23-02-2017
17	616899	9918700	50	Intersección río Grande con estero el Aguacate	31-08-2013	05-02-2014	23-02-2017
18	617088	9918490	50	Afluente menor río Grande	31-08-2013	05-02-2014	23-02-2017
19	617188	9918410	54	Esteros S/N	31-08-2013	05-02-2014	23-02-2017
20	617940	9917000	84	Intersección río Grande con estero Agua Fría	31-08-2013	05-02-2014	23-02-2017
21	617862	9916460	82	Esteros la Mina	31-08-2013	05-02-2014	23-02-2017
22	617623	9916380	79	Esteros Coataque	31-08-2013	05-02-2014	23-02-2017
23	618273	9918730	62	Esteros Guional	31-08-2013	05-02-2014	23-02-2017

N° Punto	X	Y	ALTURA (msnm)	DESCRIPCIÓN	FECHA		
24	619217	9919720	71	Río Cañitas	31-08-2013	05-02-2014	23-02-2017
25	619175	9919990	76	Intersección río Cañitas con estero El Regreso	31-08-2013	05-02-2014	23-02-2017
26	619754	9919510	86	Estero El Regreso	31-08-2013	05-02-2014	23-02-2017

3.2.2 Métodos de análisis

Los análisis se realizaron en el Laboratorio de Medio Ambiente, en la Universidad de las Fuerzas Armadas- ESPE, basados en siete parámetros físico-químicos que se pueden observar en la Tabla 3.

Tabla 3
Parámetros físico químicos para análisis de aguas

Parámetro	Método / Equipo	Norma de referencia
Temperatura	Termométrico / Termómetro de mercurio	EPA 1983, método 170.1
pH	Medición directa con electrodo/ Medidor pH portátil, modelo Orion 3-STAR, marca Termoelectric	NTE –INEN-0973
Conductividad eléctrica	Medición directa con electrodo/ Conductímetro modelo HQ14D, marca Hach.	NOM-AA-93-1984
Potencial Rédox	Medición directa con electrodo/ Multiparámetro, marca Hach.	Standard Methods, HACH (2000)
Fosfatos	método 8190/ Espectrofotómetro marca Hach	Standard Methods, HACH (2000)

Parámetro	Método / Equipo	Norma de referencia
Sulfatos	método 8190/ Espectrofotómetro marca Hach	Standard Methods, HACH (2000)
Nitratos	método 8039/ Espectrofotómetro marca Hach	Standard Methods, HACH (2000)

3.2.3 Elaboración del diagrama de Eh – pH para especies de Fósforo

La elaboración del diagrama de Pourbaix para especies de Fósforo se llevó a cabo en software Químico HSC Chemistry versión 6.0, para analizar el comportamiento de las concentraciones de fosfatos en el agua en función del potencial Rédox (Eh) vs potencial de hidrogeno (pH), de manera que, se pueda observar la estabilidad de las concentraciones de fosfatos en el agua. Los diagramas de Pourbaix sirven de herramientas útiles, ya que pueden indicar las zonas de estabilidad de ciertos compuestos químicos (Rodríguez & Marín , 1999), los cuales también suelen ser usados en Química Ambiental; para predecir especies inorgánicas no deseadas en aguas superficiales y subterráneas (Carriazo , Uribe, & Hernández , 2007).

3.2.4 Relación del Fósforo en función de las condiciones climáticas

Para determinar la relación que existe entre los fosfatos del agua y las condiciones climáticas: precipitación, evaporación, y evapotranspiración, se procedió aplicar el método de regresión lineal múltiple y correlación. La correlación estadística es una técnica que permite medir el grado de asociación que existe entre dos o más variables. El cual está definido por un factor de correlación comprendido en valores de -1 a 1 en donde si este toma el valor de 1 esto quiere decir que existe una correlación positiva en las variables, por lo tanto es directamente proporcional dando lugar a una correlación perfecta, mientras que si por el contrario R toma valor de -1 indica que existe una correlación perfecta e inversamente proporcional (Freund & Miller Irwin, 2000). Asimismo a través de la prueba de significancia se puede determinar si existe dependencia de estas variables, que plantea dos alternativas: si la significancia es menor que 0,05 serán variables dependientes, mientras que si esta toma valores mayores a 0,05 serán variables independientes (Pedroza & Dicovskyi, 2006).

Partiendo de esto, se utilizó el software IBM SPSS Statistics para aplicar el método de regresión y correlación, para lo cual, se solicitó información al Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), de acuerdo, al mes y año de los muestreos de agua de los años 2013, 2014, 2016 y 2017, no obstante, se trabajó con información mensual puesto que, al comparar las concentraciones de fosfatos de los años 2013, 2014, 2016 y 2017, estos no presentaron una variabilidad significativa, referente a los valores de precipitación mensual acumulada, por lo que, se asumió valores mensuales.

Seguidamente de acuerdo a las coordenadas geográficas de cada estación, se interpoló en el software ArcGIS 10, los valores de: precipitación, evaporación y evapotranspiración, mediante el método determinístico IDW. Se obtuvo un valor de pixel de precipitación, evaporación y evapotranspiración, para cada punto de muestreo, de modo que, se obtenga el mismo número de observaciones, se analizaron un total de 26 puntos. Se necesitaron ocho estaciones meteorológicas para que cubran el área de estudio (Figura 10), de los meses agosto 2013, febrero 2014 y agosto 2016, detalladas en la Tabla 4 con su correspondiente ubicación geográfica.

Tabla 4
Estaciones meteorológicas para el área de estudio

Estación	Nombre de la estación	X	Y
M162	Chone U Católica	607212	9930258
M163	Boyacá	591454	9936896
M005	Portoviejo	559523	9884982
M452	Zapote	605084	9896272
M462	Junín	588084	9896706
MA34	Río Grande Inhami	617337	9919192
M026	Puerto ILA	684870	9947354
M006	Pichilingue	667692	9881212

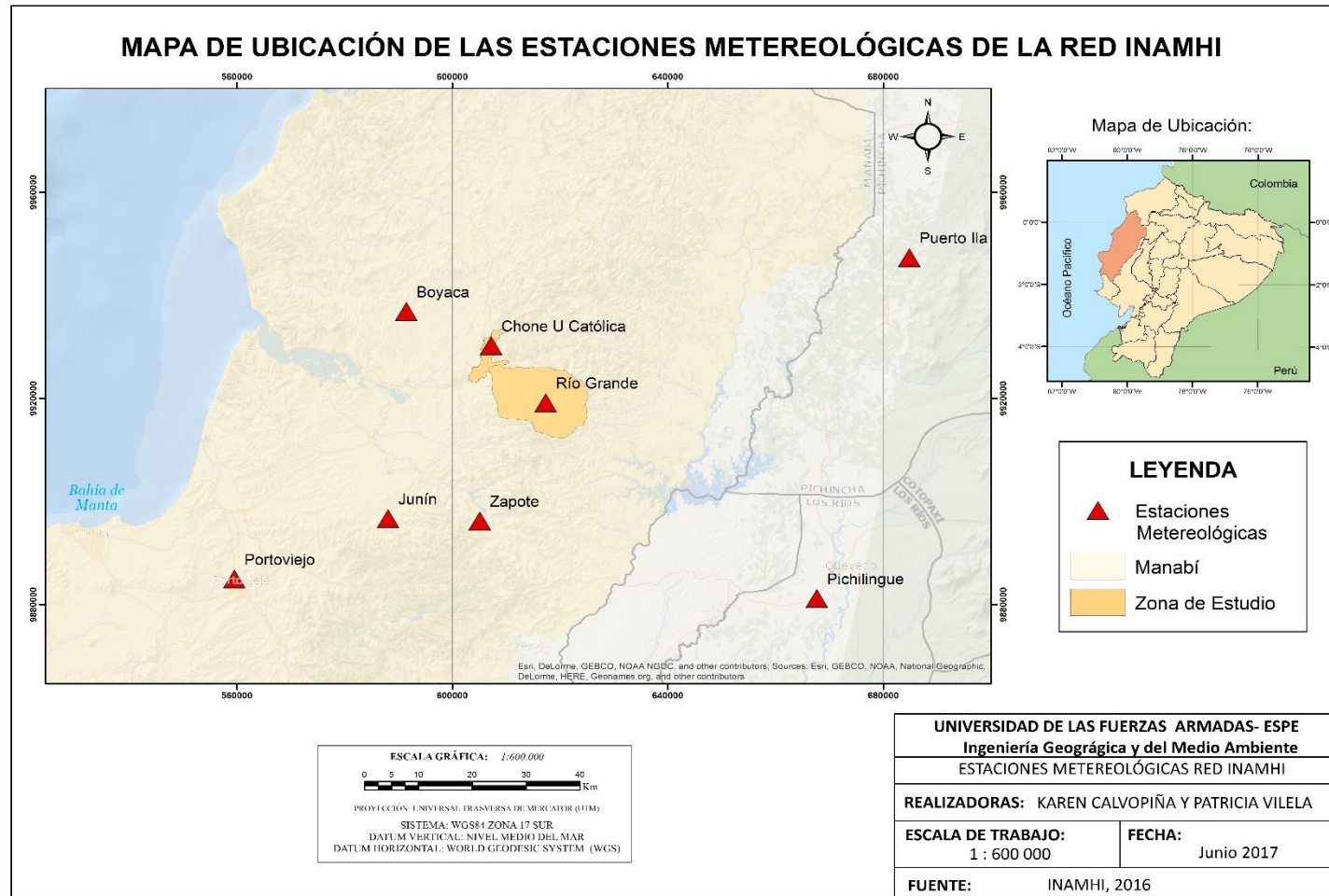


Figura 10 Mapa de ubicación de las estaciones meteorológicas de la red INAMHI

3.3 Muestreo y análisis de suelos

3.3.1 Toma de muestras

La metodología con la que se realizaron los muestreos y análisis del suelo están basados en la norma mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000, realizada por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales de México (2002). Esto porque existe una normativa ecuatoriana realizada por el Ministerio del Ambiente (2015), la reforma del libro VI del texto del texto unificado de legislación del Ecuador Anexo II, esta norma define los procedimientos de muestreos y monitoreos se deberán realizar a suelos contaminados por derivados de petróleo, es por eso, que no se describen todos los procedimientos y análisis que se necesitaron para la realización de este estudio.

Se realizaron tres muestreos, el primero con un total de 15 puntos de suelo, el segundo con dos puntos adicionales, los cuales fueron recolectados usando el método en zig-zag como se pueden observar en la Tabla 5. Estas muestras se recolectaron en dos períodos; seis en época de lluvia y las nueve restantes en época de estiaje, en los que se tomó en cada punto aproximadamente dos kg de suelo a la profundidad que dicta la norma, de 20 cm en suelos de cultivos y a 10 cm en suelos de pasto y sin cultivos como lo dicta la NOM-021-SEMARNAT-2000. En la Figura 11 se muestran los puntos de muestreo de suelo.

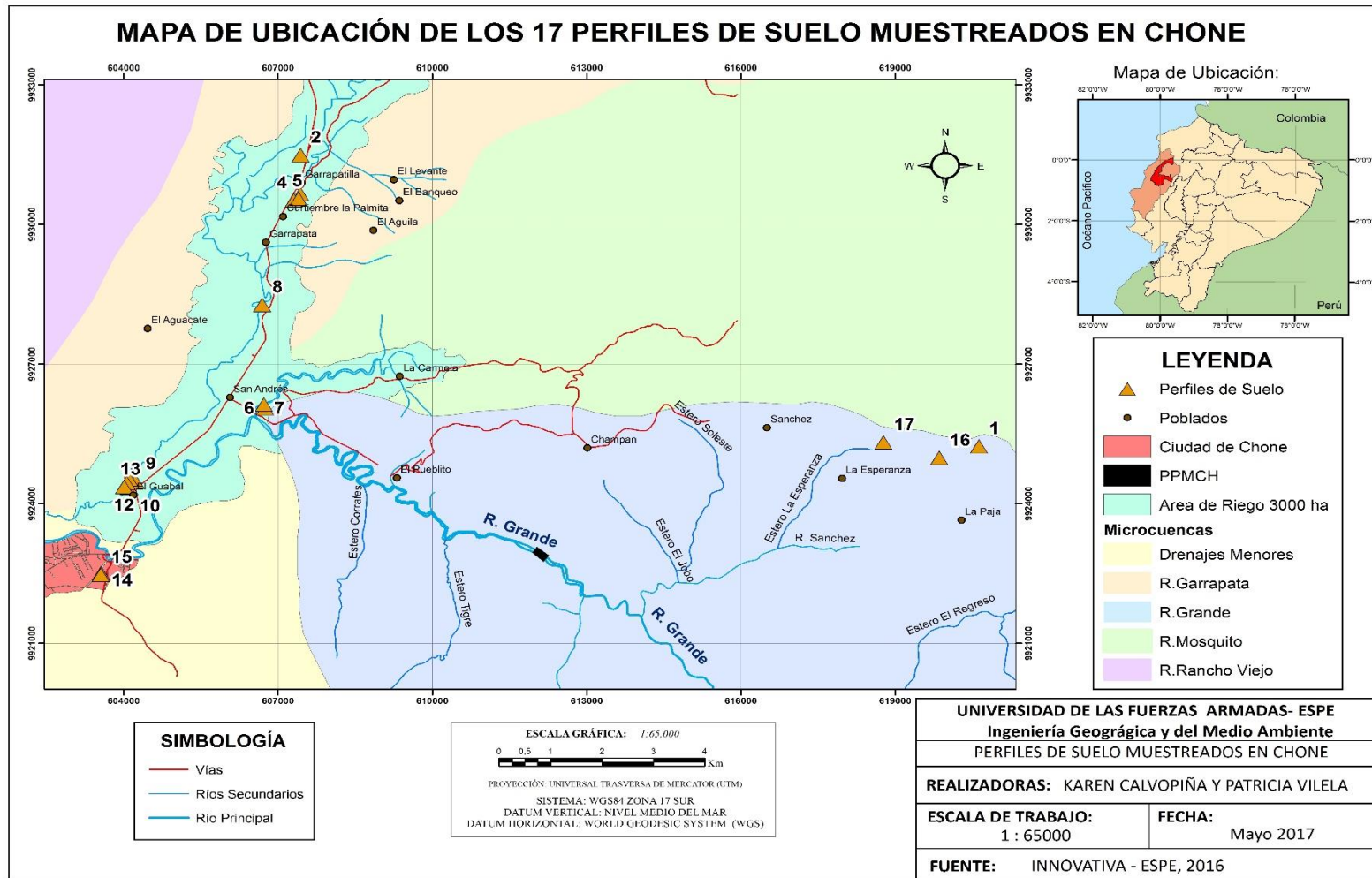


Figura 11 Mapa de ubicación de los perfiles de suelo muestreado

El segundo muestreo se llevó a cabo, con los tres suelos férricos muestreados en un inicio en el cantón Chone (perfil 1, 16 y 17). En la Tabla 5 se describe y ubica los 17 puntos de muestreo utilizados (Anexo 3, 4 y 5).

Tabla 5
Descripción y ubicación de los puntos de muestreo

N°	DESCRIPCIÓN	ÉPOCA	FECHA	X	Y
Perfil 1	Suelo férrico color rojo	Lluvia	Febrero 2016	620626	9925232
Perfil 2	Cultivo: Naranjos	Lluvia	Febrero 2016	607437	9931488
Perfil 3	Cultivo principal: plátano	Lluvia	Febrero 2016	606688	9928274
Perfil 4	Siembra de cacao criollo	Lluvia	Febrero 2016	604226	9924482
Perfil 5	Cultivos cacao y plátano	Lluvia	Febrero 2016	604102	9924528
Perfil 6	Cultivo plátano. Zona parcialmente inundada	Lluvia	Febrero 2016	604054	9924446
Perfil 7	Cultivo de pasto	Sequía	Agosto 2016	607434	9930652
Perfil 8	Cultivo de maíz	Sequía	Agosto 2016	607306	9930518
Perfil 9	Campus Universidad Católica	Sequía	Agosto 2016	607395	9930554
Perfil 10	Siembra de naranja y mandarina	Sequía	Agosto 2016	606742	9926056
Perfil 11	Siembra de cacao (mosquito)	Sequía	Agosto 2016	606723	9926132
Perfil 12	Sector el Guabal, cultivo de cítricos	Sequía	Agosto 2016	604105	9924346
Perfil 13	Cítricos	Sequía	Agosto 2016	604007	9924364
Perfil 14	Cultivo de cacao	Sequía	Agosto 2016	603558	9922510
Perfil 15	Suelos con problemas de producción (zorilla)	Sequía	Agosto 2016	603552	9922472
Perfil 16	Suelo férrico color rojo	Sequía	Agosto 2016	619852	9924982
Perfil 17	Suelo férrico color rojo	Sequía	Agosto 2016	618770	9925319

3.3.2 Métodos de análisis

A las 17 muestras de suelo se les realizaron los análisis físicos de acuerdo a la NOM-021-SEMARNAT-2000, estos parámetros fueron: humedad, densidad aparente, densidad real, porosidad y textura. Además que de los 15 primeros suelos se realizaron los extractos de saturación dado que estos son los más representativos para el análisis de sales por medio de una sonda electrolítica, ya que la conductividad eléctrica está relacionada de manera directa con el crecimiento de las plantas (Blair, 1987).

Una vez realizados los análisis preliminares de laboratorio de los 15 perfiles se procedió a elegir tres perfiles de suelo de acuerdo a sus características físico químicas tomando en cuenta su baja densidad aparente, alto nivel de porosidad, buena capacidad de retención de agua, conductividad hidráulica y pH inferior a 6,6 caracterizándose principalmente por su capacidad de retener fosfatos. Estos 3 perfiles elegidos fueron analizados en el laboratorio de tecnología ambiental de la Universidad de Santiago de Compostela (USC) (Anexo 6 y 7), de acuerdo al tipo de cultivo y a la caracterización hecha anteriormente, en donde se analizó el potencial de estos suelos para retener Fósforo por medio de los siguientes análisis de laboratorio: Fósforo disponible, Aluminio intercambiable, porcentaje de retención Fósforo, CIC, pH. De los 3 perfiles analizados uno fue seleccionado por tener el mayor porcentaje de retención de Fósforo y por ser el que más se acercaba a las características de los suelos ándicos, siendo este el suelo férrico (perfil 1).

Una vez realizado el segundo y tercer muestreo de los 3 perfiles de suelo férrico, se procedió a realizar los análisis de las características físico – químicas antes mencionadas, además de los extractos 1:10, 1:5 y de saturación para medir la conductividad eléctrica en cada extracto. Cabe recalcar que los parámetros de: fósforo disponible, Aluminio intercambiable, porcentaje de retención fósforo y CIC se los mandó a analizar en el laboratorio de Agrocalidad, debido a que esta empresa cuenta con una certificación y está acreditado al SAE, puesto que, el laboratorio de medio ambiente de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE no fue factible la realización de los análisis (Anexo 8, 9, 10, 11 y 12). Se utilizaron solo los suelos férricos porque con anterioridad se demostró que estos son aptos para la realización del Tecnosol que retenga Fósforo.

En la Tabla 6 se observan los métodos que se utilizaron para los análisis que se llevaron a cabo para caracterizar y evaluar el potencial del suelo en el cantón Chone que fueron: humedad, densidad aparente, densidad real, porosidad, textura, pH, conductividad eléctrica, cationes solubles (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}), Fósforo disponible, Aluminio intercambiable, CIC y retención de Fósforo.

Tabla 6
Determinación de parámetros físico- químicos para análisis de suelos

PARÁMETRO	MÉTODO/EQUIPO	NORMA DE REFERENCIA
Contenido de humedad	Gravimétrico	NOM-021-RECNAT-2000
Densidad real	Picnómetro	NOM-021-RECNAT-2000
Densidad aparente	Probeta	NOM-021-RECNAT-2000
Porosidad	-	NOM-021-RECNAT-2000
Textura	-	NOM-021-RECNAT-2000
pH	Medidor pH portátil, modelo Orion 3-STAR, marca Termoelectric	Medición directa con electrodo
Conductividad Eléctrica	Conductímetro modelo HQ14D, marca Hach.	NOM-AA-93-1984
Cationes Solubles (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+})	Absorción Atómica	NOM-021-RECNAT-2000
Fósforo disponible	Colorimétrico	NOM-021-RECNAT-2000
Aluminio Intercambiable	Volumétrico	NOM-021-RECNAT-2000
CIC	Absorción Atómica	NOM-021-RECNAT-2000
Retención de Fósforo	Colorimétrico	NOM-021-RECNAT-2000

3.4 Diseño y elaboración de Tecnosoles

El diseño y elaboración de Tecnosoles en este estudio fue de tipo experimental, ya que no existe una metodología oficial para seguir. Sus creadores no han hecho público la metodología que se utiliza ni las fórmulas de cada tipo de Tecnosol.

3.4.1 Obtención y tratamiento de los componentes del Tecnosol

Una vez realizados los muestreos y análisis respectivos en los suelos del cantón y elegido el suelo más apto para el estudio se procedió a la recolección del perfil 17. Además de la obtención de derivados celulósicos, puesto que son materiales adsorbentes capaces de interactuar con algunos compuestos contaminantes (Jiménez & Padilla , 2012) . Estos derivados celulósicos deben ser propios del cantón para que su obtención y recopilación no sean un rubro adicional en la elaboración del Tecnosol, además estos derivados son residuos por lo cual se está reciclando haciendo que sea un proyecto sostenible.

En este caso los derivados celulósicos elegidos fueron: cáscara de arroz y aserrín, provenientes de plantaciones de arroz y aserraderos existentes en el cantón, al ser este un cantón productor de arroz en el país (Ministerio de Agricultura y Ganderia, 2017). También se utilizó sulfato de Aluminio que es empleado comúnmente en plantas de tratamiento de agua como floculante (PQ Corporation, 2017), es utilizado también, para limpieza y desinfección de piscinas. Para conseguir que todos los componentes tengan el mismo tamaño de partícula, se pasó los cuatro por un tamiz N° 20, debido a que la cáscara de arroz y el aserrín ya veían en ese tamaño de partícula, es decir que el suelo y el sulfato de Aluminio fueron triturador y tamizados, así, se consiguió que los cuatro componentes tengan el mismo tamaño de partícula para conseguir una mezcla homogénea al realizar el Tecnosol (Anexo 13 y 14).

3.4.2 Mezcla de los Tecnosoles

Para la elaboración de cada uno de los Tecnosoles se procedió a pesar cada elemento en diferentes porcentajes y a mezclarlos en una funda de tipo ziploc hasta conseguir una mezcla homogénea (Anexo 15), que luego se utilizó en los ensayos de retención de fosfatos.

3.5 Ensayos de retención de fosfatos en las formulaciones de Tecnosoles

3.5.1 Fase de contaminación del agua sintética

Esta fase consistió en tomar un volumen conocido de agua destilada (ver Anexo 16 y 17) y contaminarla con una concentración inicial de fosfatos (1.25 mg.L^{-1}). Para este procedimiento se utilizó un compuesto de fosfato de Potasio monobásico $\text{KH}_2(\text{PO}_4)^{-3}$, de manera que el experimento simule concentraciones de fosfatos encontradas en las aguas de Río Grande. Una vez obtenida el agua sintética esta fue dispuesta en un balde de cuatro litros de capacidad en donde se instaló una manguera de suero de tal manera que el agua fluya por esta a un caudal constante para lo cual se tomó en consideración el tiempo y volumen de agua para determinación del mismo (Figura 12).

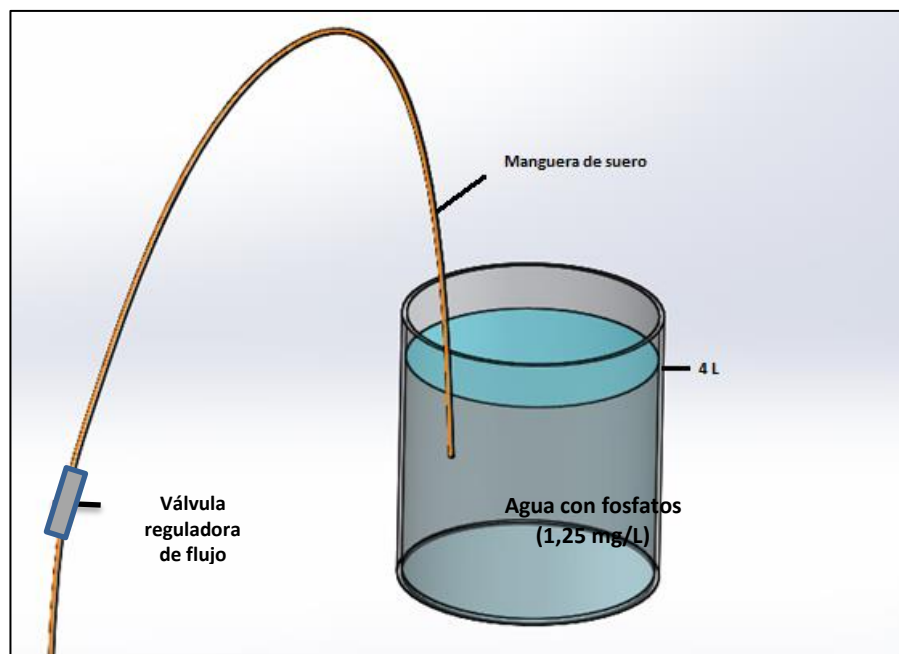


Figura 12 Agua sintética con fosfatos en recipiente de 4 litros de capacidad

3.5.2 Colocación del Tecnosol en las columnas

Una vez se elaboró los Tecnosoles en las distintas formulaciones, se pesó 50 gramos de cada muestra y se los colocó en una malla nylon formando pequeñas bolsas. Los cuales fueron colocados en un tubo de PVC de una pulgada con tapa perforada al final del mismo, de manera que al momento que fluya el agua por el sistema se filtre por las aberturas de la tapa (Figura 13).

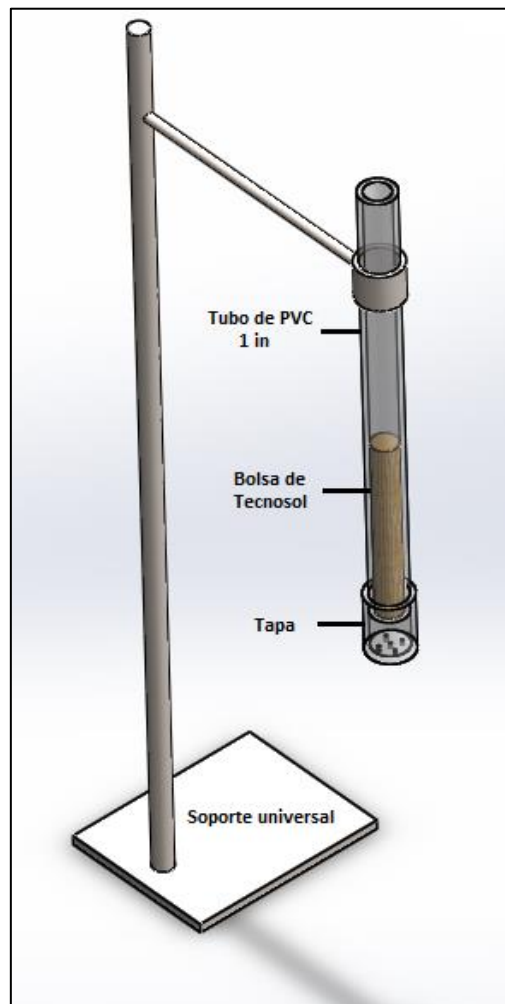


Figura 13 Tecnosol colocado en el tubo de PVC

3.5.3 Montaje del experimento

Concluidas las fases de contaminación y ubicación de los Tecnosoles en columnas de PVC se unió la fase uno y dos. El balde junto con la manguera y el agua se colocó en una mesa, conectando la manguera de suero al tubo de PVC que con ayuda de un soporte universal se mantenía estable, a goteo constante de manera que pase por las bolsas de Tecnosol que se encontraban dentro del tubo, este tuvo un tiempo (t) de filtrado en donde el agua que pasó se colocó en otro recipiente tomando lectura de las concentraciones finales con ayuda de un espectrofotómetro para medir fosfatos, en este caso el programa utilizado fue el 490 (Método de ácido ascórbico), con una longitud de onda de 880 nm, para lo cual se utilizó en compuesto marca Hach Phosver 3 para 10 ml (Figura 14).

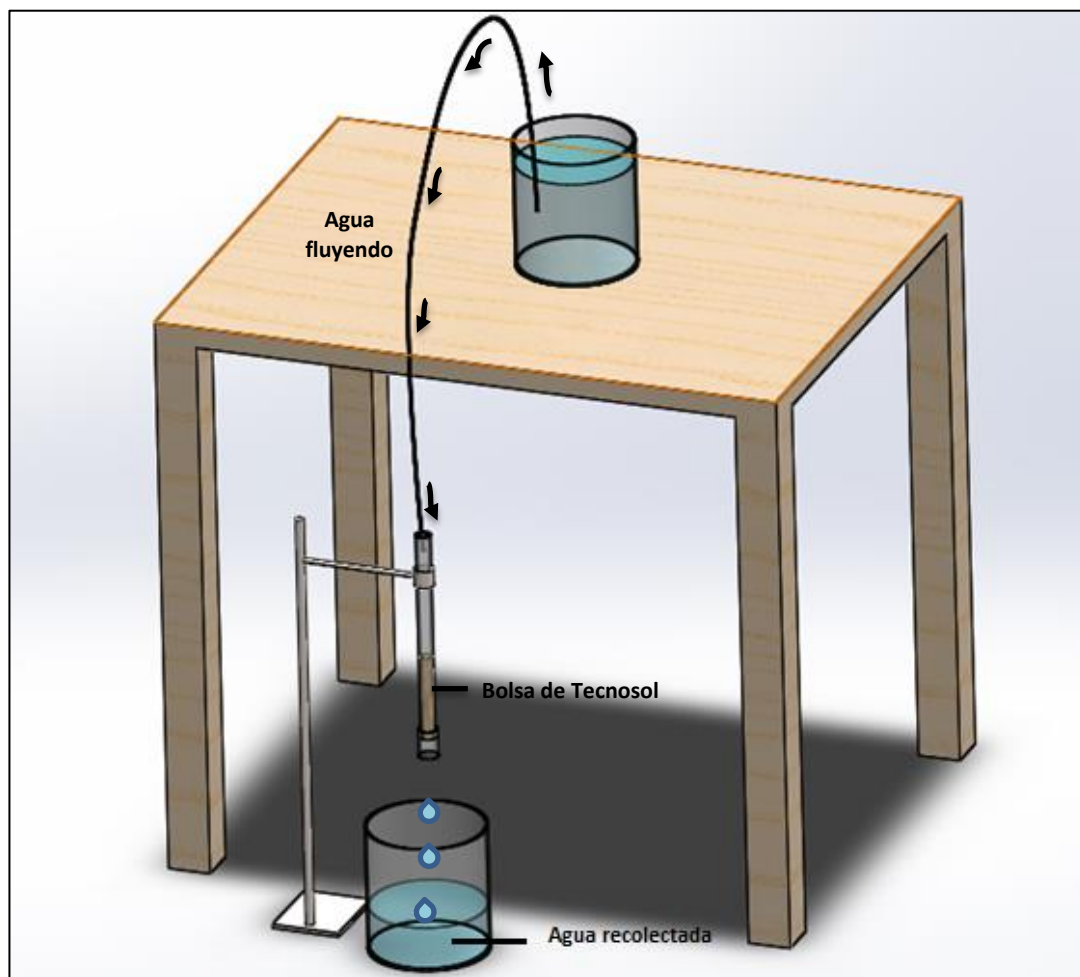


Figura 14 Diseño del experimento llevado a cabo para retención de fosfatos en los Tecnosoles

3.6 Realización de la cinética y el modelo de predicción de funcionamiento del Tecnosol

Una vez elegido el Tecnosol más eficiente de los 7 elaborados en base a los ensayos de retención de fosfatos. Se procedió a realizar el ensayo de retención pero con un tiempo mayor, el agua se dejó pasar por la columna durante dos días (47 horas) aproximadamente, durante las cuales se tomaron muestras del agua en la que ya había actuado el Tecnosol, cada hora para el posterior análisis en el espectrofotómetro, y así, comprobar el rendimiento del Tecnosol. También, se calculó en qué punto el Tecnosol llega al equilibrio para elaborar la cinética. Con el uso del software Vensim se modeló la cinética del Tecnosol y la eficiencia del mismo.

3.7 Realización de las isotermas de Langmuir y Freundlich

Para la realización de estas isotermas que se calculan cuando la adsorción llega a un estado de equilibrio, se realizó otro experimento usando como principio esta vez la agitación como lo describen (Campos Medina, 2008) y (Tubert & Talanquer, 1997), la metodología para este experimento tiende a ser adaptada al caso en estudio dependiendo del contaminante y el adsorbente, el procedimiento fue el siguiente:

- Mediante mezclas se prepararon seis diferentes soluciones iniciales de agua sintética con concentraciones conocidas de fosfatos de: (0,3, 0,5, 1, 1,5, 2, 1,5) mg.L⁻¹.
- A estas soluciones se las mezcló con el Tecnosol en tubos plásticos en una proporción de un gramo del Tecnosol, que es la cantidad estándar para 20 ml del agua sintética porque fue el volumen máximo disponible en la laboratorio para su posterior uso en la centrifugadora, a estas mezclas se procedió a agitarlos durante cuatro horas.
- Una vez terminado el tiempo designado a la agitación se centrifugaron las mezclas y filtraron para poder medir las concentraciones de fosfatos en cada una con el uso del espectrofotómetro.
- Una vez recolectados los datos se procedió a realizar los cálculos respectivos para la realización de las isotermas y comprobar cuál modelo se ajusta mejor al comportamiento de adsorción del Tecnosol.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Análisis de parámetros físico químicos en las aguas de río Grande

En las aguas naturales el parámetro físico más común que se mide es la temperatura, dado que, un aumento brusco de este parámetro supone altas concentraciones de nutrientes si se encuentra fuera de los límites establecidos para aguas superficiales. Por otro lado, los parámetros químicos de fácil medición en campo y que reflejan la calidad inorgánica cuantitativa son el pH pues, indica el comportamiento ácido o básico de un agua, la CE que determina la salinidad, Eh que indica el carácter oxidante o reductor en el agua (Campos, 2003) y sulfatos los cuales en grandes concentraciones pueden generar trastornos toxicológicos en especies acuáticas y personas (Severiche & Gónzales , 2012). En la Tabla 7, se observa los parámetros físico-químicos de los puntos de agua recolectados a lo largo de río Grande, medidos en el Laboratorio de Medio Ambiente, de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

Tabla 7.
Parámetros físico-químicos medidos en época de sequía y lluvia

N° Punto	AÑO	ÉPOCA	T °C	pH	Eh mv	CE $\mu\text{S.cm}^{-1}$	S - SO_4^{2-} mg.L ⁻¹
1	2016	sequía	23	7,87	177,2	411	66
2	2016	sequía	24	8,1	179,1	406	60
3	2016	sequía	26	7,99	179,6	322	40
4	2016	sequía	28	9,08	175,1	320	39
5	2016	sequía	28	8,03	188,6	355	41
6	2016	sequía	27	7,92	189,4	335	41
7	2016	sequía	28	7,66	186,1	324	37
8	2016	sequía	32	9,43	156,8	269	27
9	2016	sequía	28	9,96	163,8	304	32

N° Punto	AÑO	ÉPOCA	T °C	pH	Eh mv	CE $\mu\text{S.cm}^{-1}$	S - SO_4^{2-} mg.L ⁻¹
10	2017	lluvia	31,00	8,23	164,90	173,60	41
11	2017	lluvia	32,00	8,04	183,90	172,50	37
12	2017	lluvia	31,00	7,36	194,90	161,10	34
13	2017	lluvia	32,00	7,18	187,80	160,30	31
14	2017	lluvia	31,00	6,71	208,10	156,50	31
15	2017	lluvia	32,00	6,77	206,10	146,60	29
16	2017	lluvia	31,00	6,35	208,20	115,50	17
17	2017	lluvia	30,00	6,50	209,20	121,20	17
18	2017	lluvia	31,00	6,61	204,30	126,70	19
19	2017	lluvia	30,00	6,62	198,90	124,90	20
20	2017	lluvia	31,00	6,89	192,90	151,60	30
21	2017	lluvia	31,00	7,24	204,40	188,70	44
22	2017	lluvia	30,00	7,35	194,70	202,80	49
23	2017	lluvia	31,00	7,20	194,30	134,30	22
24	2017	lluvia	31,00	7,08	188,10	134,60	24
25	2017	lluvia	31,00	7,03	192,60	136,20	22
26	2017	lluvia	30,00	6,91	192,20	135,40	24

Los puntos analizados en época de sequía presentaron valores de temperatura con variaciones de 23 a 28 grados Celsius, mientras que los puntos de la época de invierno presentaron valores de 30 a 32 grados Celsius ver Figura 15 , siendo este menor a 35°C como estipula el acuerdo N° 061 de la reforma del libro VI del texto unificado de Legislación Secundaria anexo I tabla 12 (MAE, 2015), encontrándose dentro de los límites permitidos. La temperatura promedio fue de 29 grados Celsius con respecto a la temperatura media de Chone, que es de 26 grados Celsius de acuerdo a la información del INHAMI (2016), por lo que, se encuentra en el rango previsible.

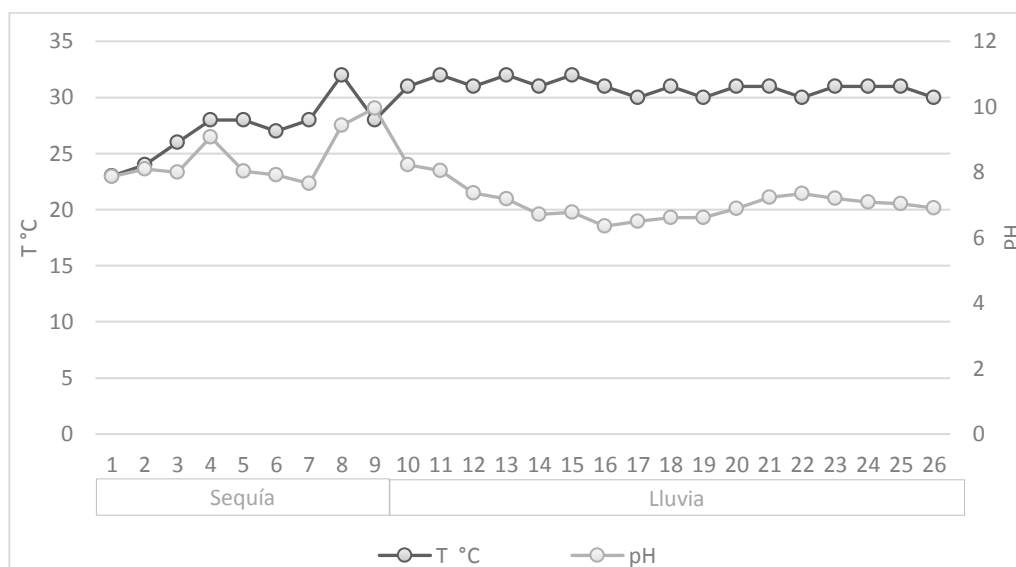


Figura 15 Valores medidos de temperatura y pH para los 26 puntos 2016 y 2017

En la Figura 15 los puntos 4, 8, 9 presentaron valores de pH superiores a 8.5 calificándolos como fuertemente alcalinos, mientras que los puntos 1, 2, 3, 5, 6, 7, 12, 22 presentaron valores comprendidos en 7.4 y 8.5 calificando estas aguas como medianamente alcalinas, mientras que los puntos en su mayoría correspondientes a época de lluvia presentaron valores de pH comprendidos entre 6.5 a 7.4 calificándolas como neutro (Fernández, 2008).

De acuerdo a los valores de conductividad eléctrica (CE) Figura 16, estas aguas no mostraron problemas de salinidad presentando valores inferiores a $750 \mu\text{S}/\text{cm}$ (Olías, Cerón, & Fernández, 2005), no obstante, los valores de conductividad aumentan en época de sequía con respecto a los valores medidos en época de lluvia, probablemente por consecuencia de las precipitaciones, pues, a mayores precipitaciones la conductividad disminuye debido a la dilución del cuerpo de agua (Ramírez, 2015).

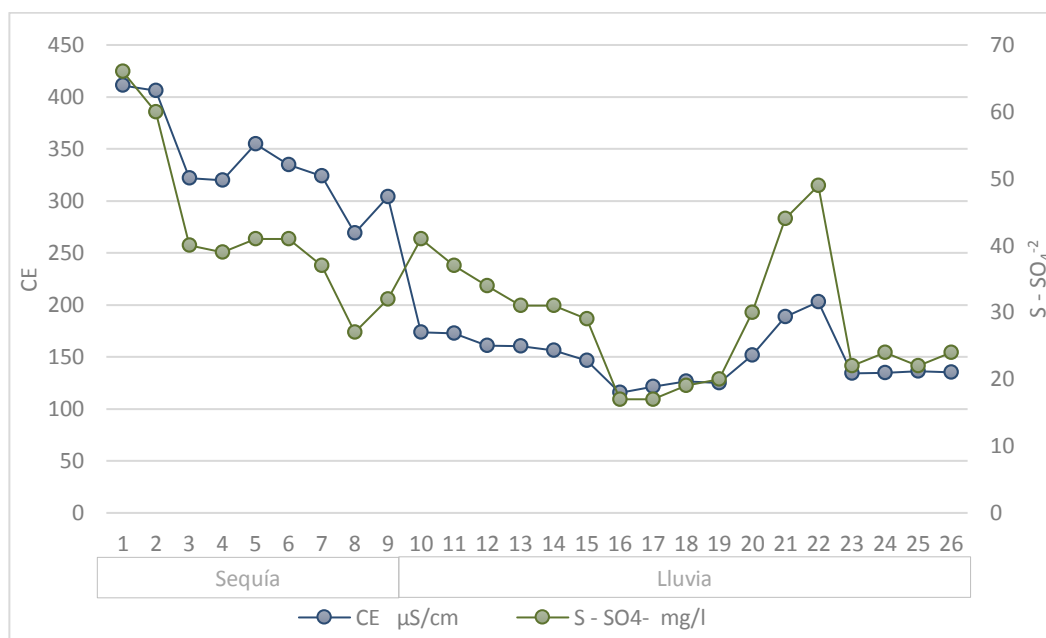
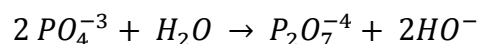


Figura 16 Valores de CE y SO_4^{2-} año 2016 y 2017

Los concentraciones de sulfatos ($\text{S} - \text{SO}_4^{2-}$) Figura 16, variaron de 17 a 66 mg.L^{-1} encontrándose en bajas concentraciones, acorde a los límites máximos permisibles según el acuerdo N° 061 de la reforma ecuatoriana que para consumo humano y uso domésticos este valor no debe exceder los 250 mg.L^{-1} , por lo que no hay problemas encontrados en concentraciones de sulfatos.

4.1.1 Diagramas de Eh-pH para especies de Fósforo

El Fósforo se encuentra principalmente en los sistemas acuáticos, en forma de fosfatos: pirofosfatos, ortofosfatos, y Fósforo orgánico, el cual proviene de plantas, animales, suelos, rocas y fertilizantes (Jímenez, 2001). El pirofosfato se produce por la condensación de los fosfatos como se ve a continuación:



De acuerdo a la Figura 17, se puede observar que los sistemas $\text{P}_2\text{O}_7^{-4}$ y PO_4^{-3} son especies dominantes en condiciones oxidantes, por el aporte continuo de oxígeno, los pirofosfatos existirán en valores de pH inferiores a 6,4 y los fosfatos en presencia de valores de pH superiores.

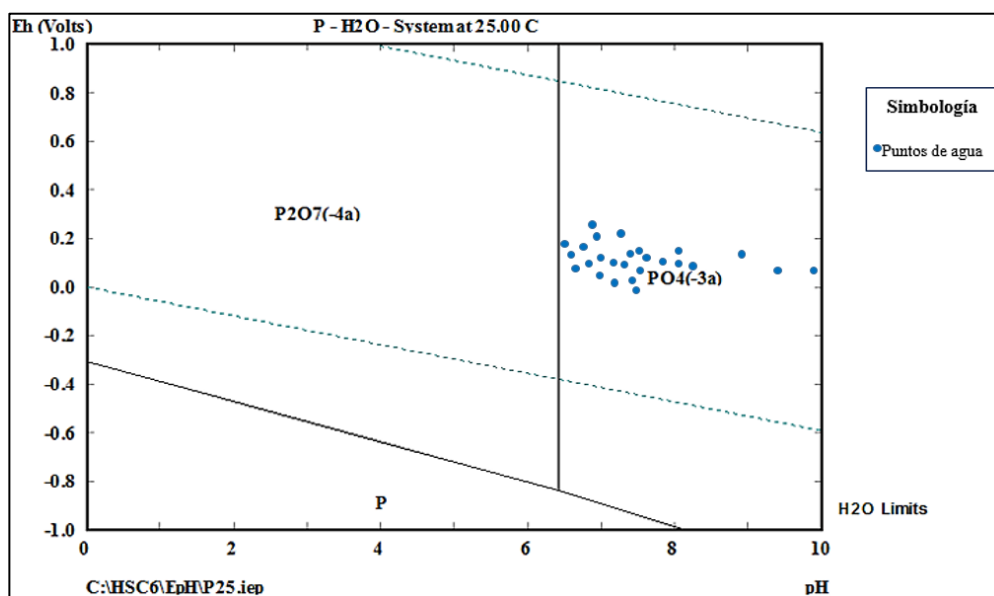


Figura 17 Diagrama de Pourbaix Eh-pH de distribución de especies de Fósforo años 2016 y 2017

Los puntos de agua recolectados en las aguas de río Grande Figura 17, se encuentran en valores comprendidos de 0,15 a 0,2 voltios y valores de pH de 6,4 a 10 aproximadamente, manteniéndose estables las concentraciones de fosfatos de acuerdo al gráfico de Pourbaix, tomando en consideración que el proceso de eutrofización se acelera a una concentración de 0.1 mg.L^{-1} de fosfatos en condiciones normales de temperatura y presión.

4.2 Demostración y análisis del fenómeno de eutrofización a través de mapas de distribución espacial a través del tiempo

En la Tabla 8 se observa datos de concentraciones de fosfatos (PO_4^{-3}) y nitratos (NO_3^-), medidos de los años 2013, 2014 y 2016, 2017, tomados en época de lluvia y sequía con un total de 26 puntos comunes en este rango de años, con el fin de determinar el grado de eutrofización de las aguas de río Grande en este lapso, para seguidamente, representarlos en mapas de distribución espacial y observar los cambios de concentraciones a través del tiempo.

Tabla 8
Concentraciones de PO₄³⁻ y NO₃⁻ de los años 2013, 2014, 2016 y 2017

N° Punto	DESCRIPCIÓN	AÑO	ÉPOCA	P- PO ₄ ³⁻ mg.L ⁻¹	N- NO ₃ ⁻ mg.L ⁻¹	AÑO	ÉPOCA	P- PO ₄ ³⁻ mg.L ⁻¹	N- NO ₃ ⁻ mg.L ⁻¹	AÑO	ÉPOCA	P- PO ₄ ³⁻ mg.L ⁻¹	N- NO ₃ ⁻ mg.L ⁻¹
1	Estero El Regreso	2016	sequía	1,57	1,50	2014	lluvia	0,08	0,95	2013	sequía	0,26	0,00
2	Estero El Regreso	2016	sequía	1,42	1,30	2014	lluvia	0,11	1,22	2013	sequía	0,38	1,24
3	Estero El Aposento	2016	sequía	0,97	0,78	2014	lluvia	0,08	0,95	2013	sequía	0,48	1,47
4	Estero El Aposento	2016	sequía	0,81	0,65	2014	lluvia	0,11	1,22	2013	sequía	0,28	1,04
5	Río Grande	2016	sequía	0,64	0,90	2014	lluvia	0,15	0,00	2013	sequía	0,28	1,29
6	Río Grande	2016	sequía	0,73	1,10	2014	lluvia	0,16	1,06	2013	sequía	0,16	0,00
7	Intersección río Grande y río Cañitas	2016	sequía	0,82	0,67	2014	lluvia	0,12	1,09	2013	sequía	0,34	1,13
8	Río Grande	2016	sequía	0,72	1,00	2014	lluvia	0,31	1,37	2013	sequía	1,31	2,61
9	Río Grande	2016	sequía	0,82	0,87	2014	lluvia	0,01	0,00	2013	sequía	0,05	0,00
10	Embalse PPMCH	2017	lluvia	1,28	1,10	2014	lluvia	1,42	0,98	2013	sequía	0,25	1,00
11	Río Grande	2017	lluvia	0,60	1,00	2014	lluvia	1,21	2,52	2013	sequía	0,25	1,00
12	Intersección río Grande con río Platanales	2017	lluvia	0,60	0,65	2014	lluvia	1,05	2,21	2013	sequía	0,20	0,00

N° Punto	DESCRIPCIÓN	AÑO	ÉPOCA	P- PO ₄ ³⁻ mg.L ⁻¹	N- NO ₃ ⁻ mg.L ⁻¹	AÑO	ÉPOCA	P- PO ₄ ³⁻ mg.L ⁻¹	N- NO ₃ ⁻ mg.L ⁻¹	AÑO	ÉPOCA	P- PO ₄ ³⁻ mg.L ⁻¹	N- NO ₃ ⁻ mg.L ⁻¹
13	Intersección río Grande con estero el Jobo	2017	lluvia	1,20	1,00	2014	lluvia	0,31	1,37	2013	sequía	0,00	0,00
14	Río Grande	2017	lluvia	1,13	1,20	2014	lluvia	0,85	0,13	2013	sequía	0,00	0,10
15	Río Grande	2017	lluvia	0,72	1,30	2014	lluvia	0,14	1,06	2013	sequía	0,39	1,04
16	Río Grande	2017	lluvia	1,75	1,40	2014	lluvia	0,14	1,06	2013	sequía	0,10	0,00
17	Intersección río Grande con estero el Aguacate	2017	lluvia	0,75	1,10	2014	lluvia	0,15	0,00	2013	sequía	0,00	1,04
18	Afluente menor río Grande	2017	lluvia	1,00	1,10	2014	lluvia	0,16	1,06	2013	sequía	0,32	1,04
19	Estero S/N	2017	lluvia	0,63	0,70	2014	lluvia	0,23	1,13	2013	sequía	0,39	0,00
20	Intersección río Grande con estero Agua Fría	2017	lluvia	0,65	1,20	2014	lluvia	0,72	2,20	2013	sequía	0,00	1,04
21	Estero la Mina	2017	lluvia	0,68	1,00	2014	lluvia	0,01	1,50	2013	sequía	0,00	0,00
22	Estero Coataque	2017	lluvia	1,05	1,20	2014	lluvia	0,55	1,69	2013	sequía	0,30	1,13
23	Estero Guional	2017	lluvia	0,38	1,20	2014	lluvia	0,15	1,05	2013	sequía	0,34	1,13
24	Río Cañitas	2017	lluvia	1,73	1,00	2014	lluvia	0,16	0,95	2013	sequía	0,30	1,04

N° Punto	DESCRIPCIÓN	AÑO	ÉPOCA	P- PO ₄ ³⁻ mg.L ⁻¹	N- NO ₃ ⁻ mg.L ⁻¹	AÑO	ÉPOCA	P- PO ₄ ³⁻ mg.L ⁻¹	N- NO ₃ ⁻ mg.L ⁻¹	AÑO	ÉPOCA	P- PO ₄ ³⁻ mg.L ⁻¹	N- NO ₃ ⁻ mg.L ⁻¹
25	Intersección río Cañitas con estero El Regreso	2017	lluvia	1,60	1,10	2014	lluvia	1,20	1,56	2013	sequía	0,32	0,00
26	Esteros El Regreso	2017	lluvia	1,40	1,10	2014	lluvia	0,11	1,22	2013	sequía	0,38	1,24

Para el análisis de la eutrofización los fosfatos (PO_4^{3-}) son considerados como elemento limitante de este proceso, por lo que, a un valor superior de 0.1 mg.L^{-1} de PO_4^{3-} los procesos de eutrofización se aceleran (Jarvie, *et al.*, 2013). De acuerdo a la Tabla 8 y Figura 18, en el año 2013 se observa que el 23% de los puntos no aceleran la eutrofización, mientras que el 77% aceleran los procesos de eutrofización, asimismo en el año 2014 el 15% de los puntos no aceleran los procesos de eutrofización, mientras que el 85% acelera este proceso, por último, los años 2016 y 2017 el 100% de los puntos aceleran los procesos de eutrofización con valores superiores a $0,1 \text{ mg.L}^{-1}$ de fosfatos, calificándolas como aguas en estado hipertrófico debido al alto aporte de este nutriente en las aguas de río Grande (Carrera, Guevara, Gualichicomín, & Maya, 2015).

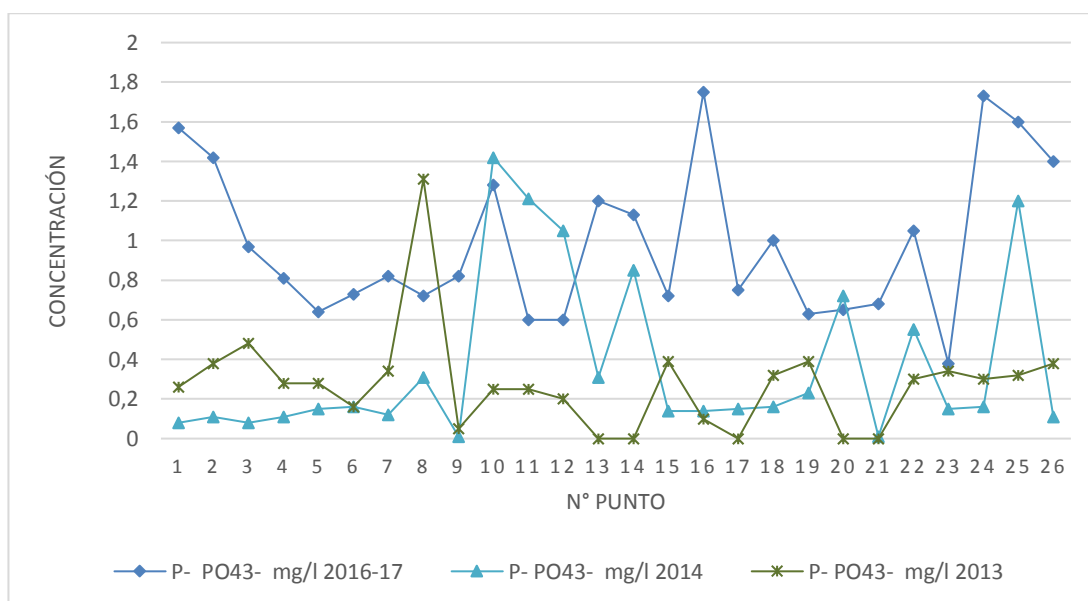


Figura 18 Concentraciones de PO_4^{3-} medidos en los años 2013, 2014, 2016 y 2017

Al igual que los fosfatos (PO_4^{3-}), los nitratos (NO_3^-), cumplen un papel importante en el crecimiento de especies acuáticas en los cuerpos de agua, por lo cual, el límite máximo para concentraciones de NO_3^- para agua potable y sistemas públicos de agua es de 10 mg.L^{-1} (EPA, 2017), dicho esto, de acuerdo a los valores presentados en la Figura 19, los valores medidos fueron bajos y no sobrepasaron los límites máximos sugeridos por la EPA, sin embargo, se puede evidenciar que las concentraciones al igual que los fosfatos fueron menores en época de sequía, mientras que en época de lluvia aumentaron, probablemente por el cambio de época y las condiciones climáticas.

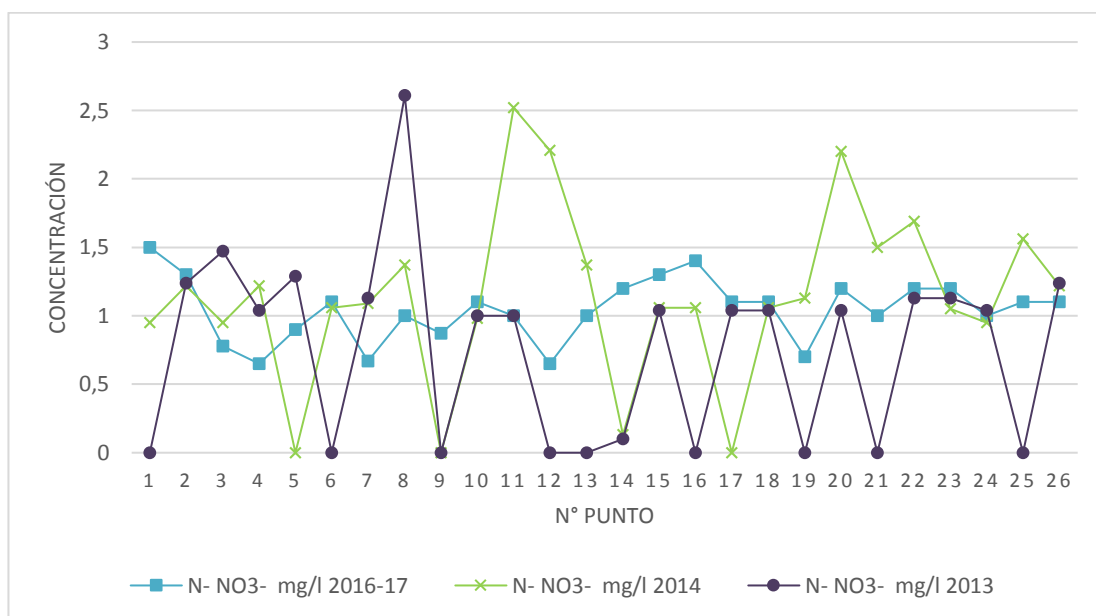


Figura 19 Concentraciones de NO_3^- medidos en los años 2013, 2014, 2016 y 2017

En la Figura 20 se observa una buffer de aproximadamente 1 km alrededor de río Grande, representado por colores rosas a rojos, los mismos que determinan el nivel de concentraciones de fosfatos en el río los que indican: si no existe eutrofización, si acelera el proceso de eutrofización, o por el contrario si la eutrofización es acelerada, determinándose así, que en el año 2013 cerca del 7.17% del área delimitada no presenta la existencia de eutrofización, mientras que el 92.83% acelera la eutrofización. El año 2014 presentó que el 3,27% del área delimitada no presenta eutrofización, el 7.55% acelera la eutrofización, mientras que el 89.18% presentó una eutrofización acelerada. Por último el año 2016 y 2017 alrededor del 43,71% aceleran los procesos de eutrofización, mientras que el 56.29% del área presentó una eutrofización acelerada, concluyendo así entonces, que la diferencia de concentraciones ha ido variando de manera significativa a través del tiempo, determinándose que, las aguas de río Grande se encuentran en estado hipertrófico.

Posiblemente, por la inundación que se produjo al embalsar el agua en la presa, dejando sumergidos bosques, plantas, y tierras de cultivo en la parte baja, lo que ocasionó el aumento de nutrientes y la estratificación térmica reduciéndose la oxigenación natural del río, acelerando en el ecosistema hidrológico el proceso de eutrofización (Hernández, 2002).

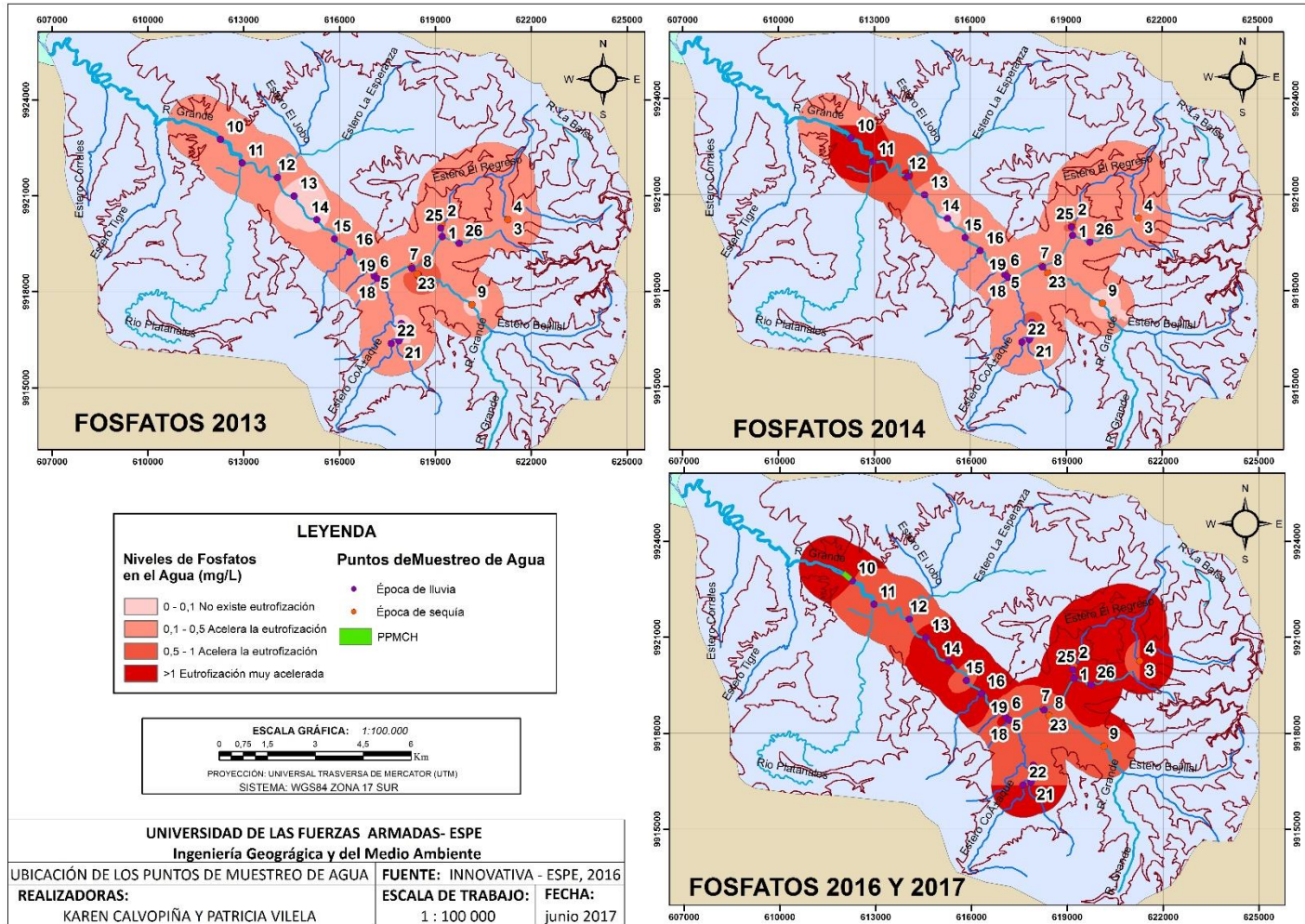


Figura 20 Mapa de las concentraciones de fosfatos en el agua del sistema hidrográfico de río Grande de los años 2013, 2014, 2016 y 2017

Los afluentes que más aporte de Fósforo presentaron en los años 2016 y 2017, fueron: Cañitas, Platanales, estero El Aguacate y estero el Regreso (Figura 21), observándose una alta concentración de $(\text{PO}_4)^{-3}$ en río Grande, seguramente por causa de la inundación de la cobertura vegetal en la presa, dado que al no realizar el desbroce y limpieza de la vegetación del área a ser inundada como sugiere el Estudio de Impacto Ambiental (ESIA) de Chone (2011), esto acelera los procesos de eutrofización por la descomposición de la materia vegetal, aportando altas concentraciones de nutrientes (Cuello, 1995), el cual se constató en el área de estudio, dado que al recolectar las muestras para análisis de aguas se observó bosques sumergidos. Otra de las razones puede ser que al embalsar el agua, el caudal disminuye limitando la capacidad auto depuradora del río, con un alto contenido de sedimentos ricos en Fósforo y Nitrógeno (Da Ross, 1995).

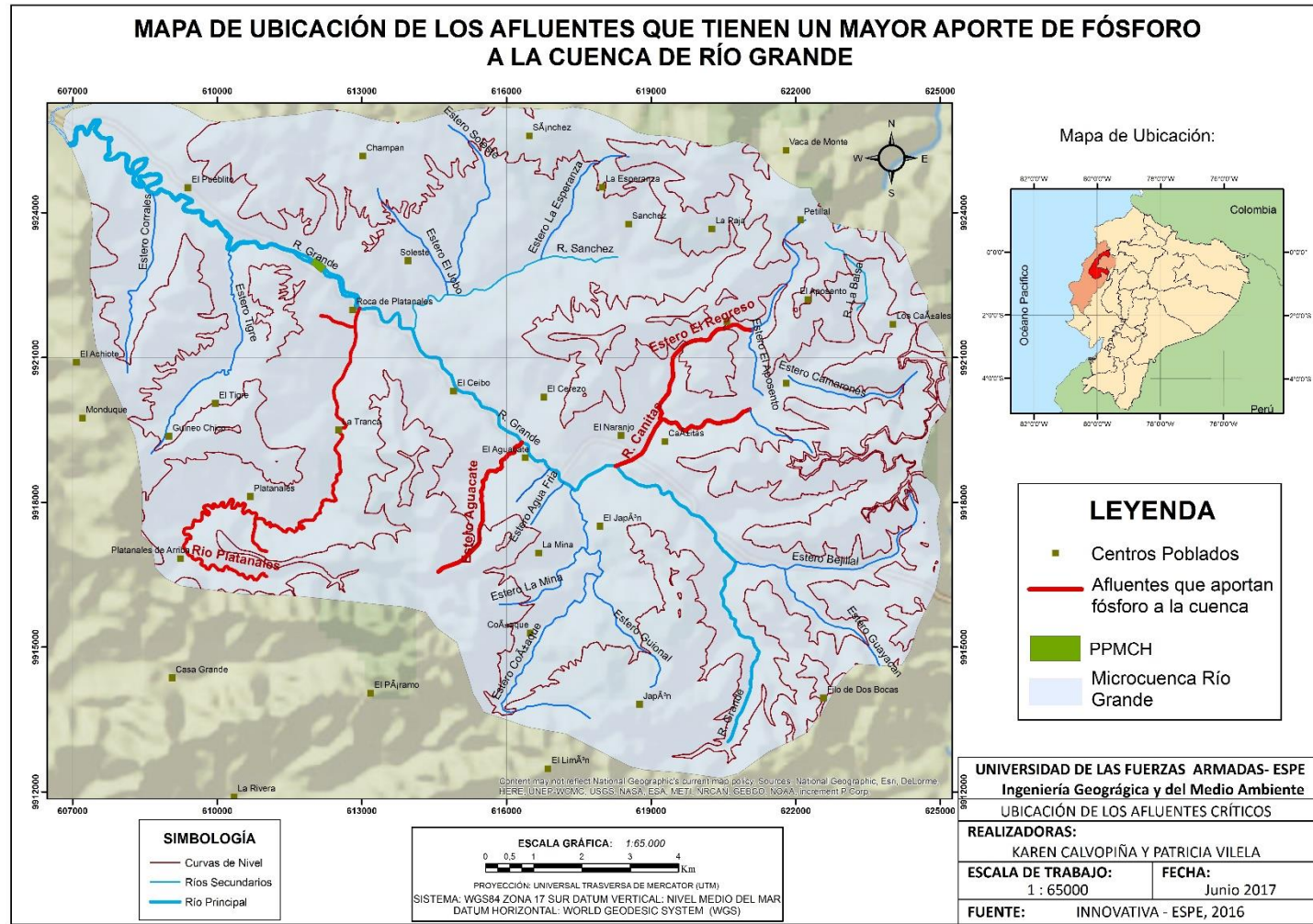


Figura 21 Mapa de ubicación de los afluentes que aportan fosfatos al agua del sistema hidrográfico de río Grande 2016 y 2017

4.3 Incremento de las concentraciones de fosfatos y nitratos en los años 2013, 2014, 2016 y 2017 y su grado de correlación

Para el análisis de los aniones fosfatos y nitratos, se ha planteado el análisis de correlación, pues se ha observado que estos compuestos tienden a estar presentes en altas concentraciones en las aguas de río Grande, acelerando los procesos de eutrofización de acuerdo a los valores monitoreados de los datos históricos, de modo que, para obtener el coeficiente de correlación entre nitratos y fosfatos se realizaron regresiones lineales Tabla 9, para cada año de muestreo en el sistema hidrográfico de río Grande, así, se pudo determinar si existe una dependencia entre éstos dos aniones.

Tabla 9
Correlación entre PO_4^{3-} y NO_3^- de las aguas de río Grande

Año	Descripción	Concentración nitratos	Concentración fosfatos
2013	Concentración fosfatos	Correlación de Pearson	0,698
		Significancia (bilateral)	0
		Número de puntos	26
2014	Concentración fosfatos	Correlación de Pearson	0,573
		Significancia (bilateral)	0,002
		Número de puntos	26
2016 - 2017	Concentración fosfatos	Correlación de Pearson	0,453
		Significancia (bilateral)	0,02
		Número de puntos	26

De acuerdo a la Tabla 9, se puede apreciar que existe para el año 2013 un factor de correlación de Pearson de 0,698, indicando la existencia de una correlación positiva intensa por ello es directamente proporcional, con un valor de significancia de 0 menor a 0,05 indicando que son variables dependientes. El año 2014 por otro parte, presenta un factor de correlación de Pearson es de 0,573, mostrando una correlación positiva moderada, indicando que son directamente proporcionales, con un valor de significancia de 0,002 menor a 0,05 por lo que hay dependencia de estas dos variables. Por último los años 2016 y 2017, presentan un factor de correlación de Pearson de 0,453 señalando que existe una correlación positiva débil, con un valor de significancia de 0,020 menor a 0,05, en consecuencia existe dependencia de estas variables.

De la misma forma, al analizar la Figura 22, se observa la distribución de las concentraciones de estos aniones, presentado los valores más bajos en el año 2013, mientras que los años 2014, 2016 y 2017, el valor de las concentraciones de fosfatos y nitratos aumenta en un rango de 0,5 a 1,8 mg.L⁻¹, manteniéndose constante en estos tres años.

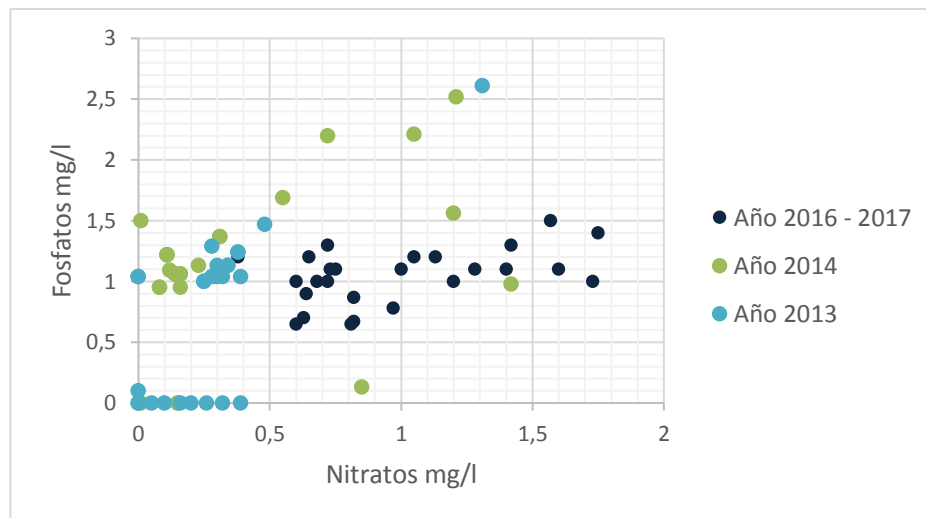


Figura 22 Distribución de concentraciones fosfatos vs nitratos

En síntesis, se puede concluir que existe una asociación entre las concentraciones de fosfatos y nitratos para los años 2013, 2014, 2016 y 2017 señalando en todos los casos un comportamiento directamente proporcional, es decir, que si la concentración de fosfatos aumenta la concentración de nitratos de igual manera aumentará, en las aguas de río Grande.

4.4 Análisis estadístico de las concentraciones de fosfatos vs condiciones climáticas e interpolación de los valores de precipitación, evaporación y evapotranspiración de los años 2013, 2014, 2016 y 2017

Antes y después de la construcción de la PPMCH se monitorearon las concentraciones de nitratos y fosfatos en el sistema hidrográfico de río grande, años: 2013, 2014, 2016 y 2017, así, se demostró un incremento de concentraciones de esos aniones. Adicionalmente, en época de sequía se detectaron menores concentraciones en el agua si se compara con época de lluvia. Por lo que, probablemente exista una relación con las condiciones climáticas, Audesirk *et al.* (2003) menciona que existe una relación alta entre la intensidad de lluvias y el incremento en la concentración de fosfatos, producto del lavado de las rocas fosfóricas y del suelo, depositándose los

fosfatos en las aguas superficiales. Por consiguiente, se intentó encontrar una relación múltiple entre la presencia de fosfatos con la precipitación, evaporación y evapotranspiración. Se hizo el análisis de manera independiente, por año, para no mezclar estaciones climáticas, lluvias y estiaje, además de los años de muestreo, sin embargo, el año 2016 y 2017 se trabajó en conjunto porque a la fecha de la presentación de este trabajo no hay información meteorológica del 2017.

Solamente se evaluó fosfatos porque es el elemento limitante que causa la eutrofización y, el propósito de este trabajo fue diseñar un Tecnosol que retenga fosfatos. El Nitrógeno es más complicado de estudiarlo porque se encuentra en las matrices agua, suelo y aire, mientras que el Fósforo en forma de fosfato solo se encuentra en la matriz agua.

Para determinar los valores de precipitación, evaporación y evapotranspiración de cada punto de muestreo, se generaron nueve modelos ráster, usando el método de interpolación (IDW) que se representaron en la Figura 23, Figura 24 y Figura 25. De donde se obtuvo los valores del pixel para cada punto de muestreo de agua, definidos en la Tabla 10 .

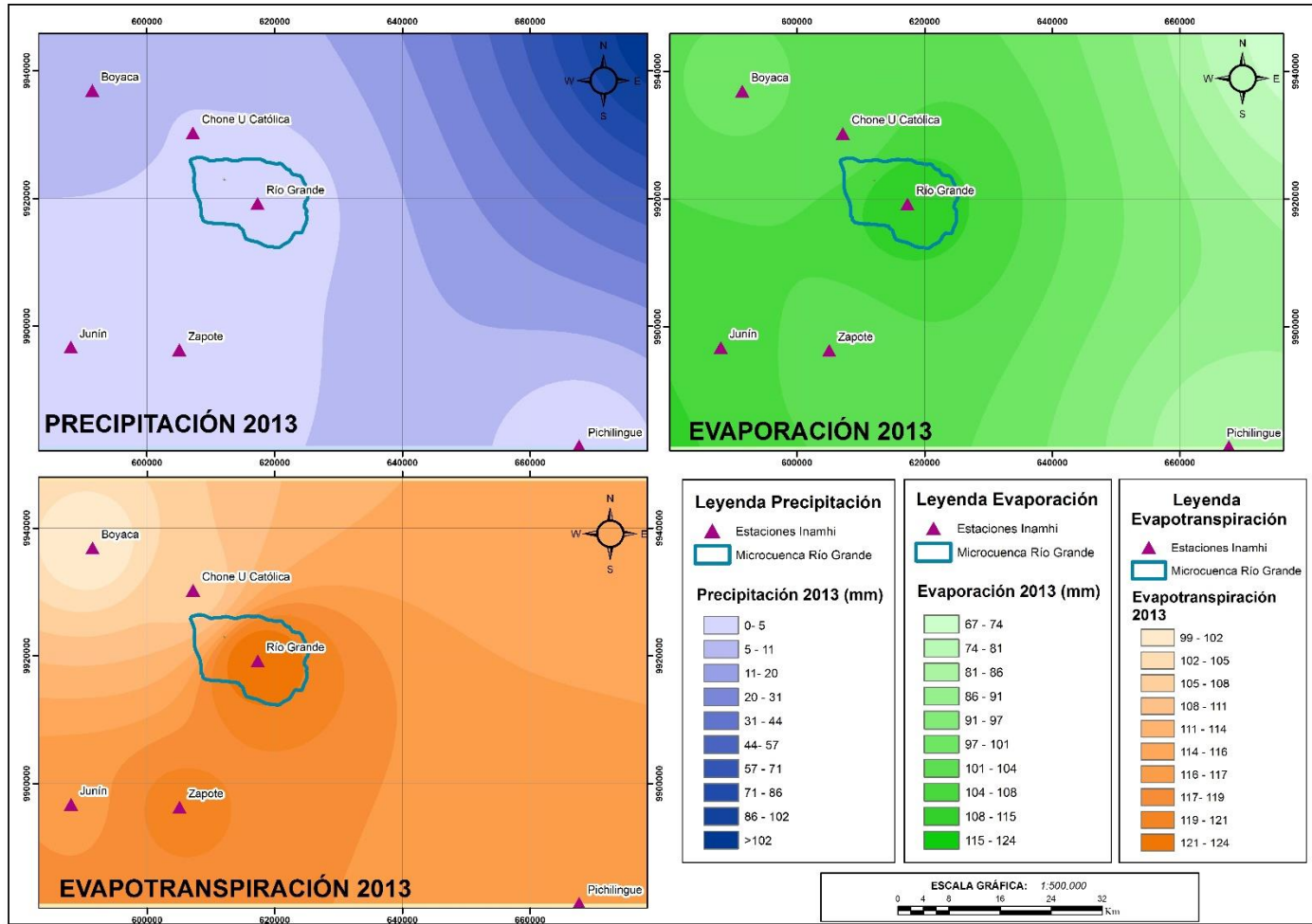


Figura 23 Modelos ráster de precipitación, evaporación y evapotranspiración para el año 2013

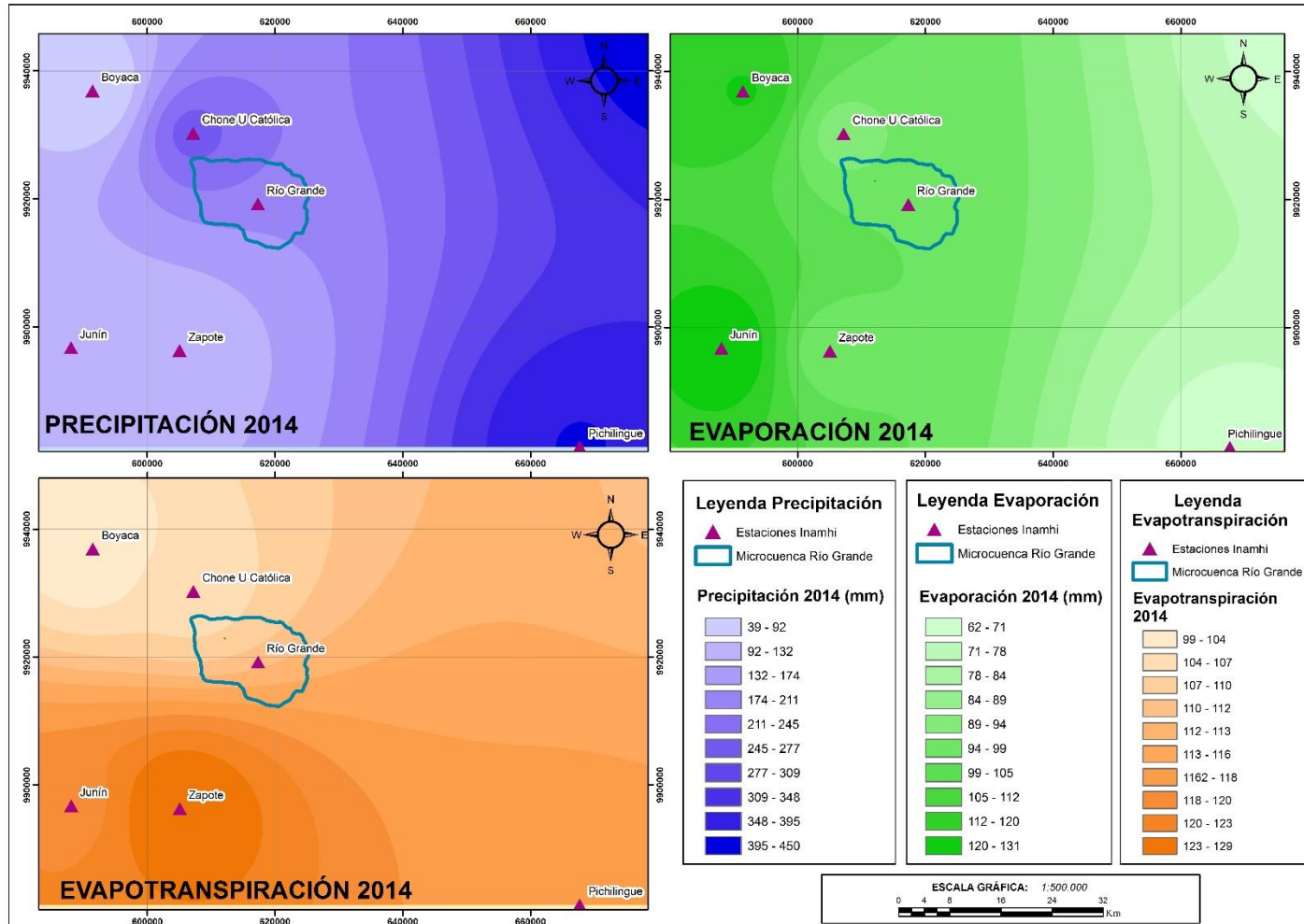


Figura 24 Modelos ráster de precipitación, evaporación y evapotranspiración para el año 2014

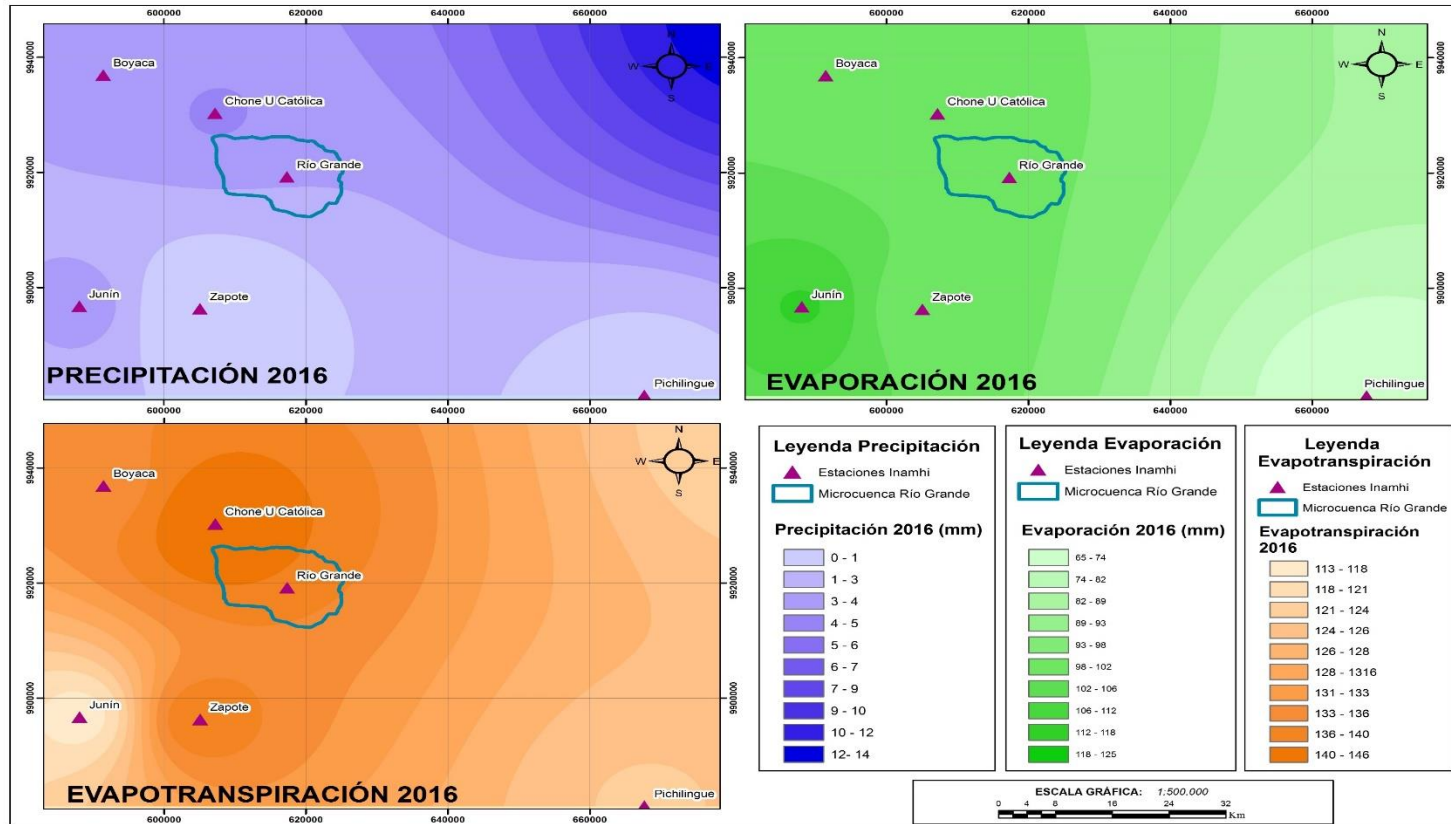


Figura 25 Modelos ráster de precipitación, evaporación y evapotranspiración para el año 2016

Tabla 10

Valores de fosfatos (PO_4^{-3}), precipitación, evaporación y evapotranspiración para los años 2013, 2014, 2016 y 2017

N° punto	2013				2014				2016 – 2017			
	PO_4^{-3} mg.L ⁻¹	Precipitación mm	Evaporación mm	Evapotranspiración mm	PO_4^{-3} mg.L ⁻¹	Precipitación mm	Evaporación mm	Evapotranspiración mm	PO_4^{-3} mg.L ⁻¹	Precipitación mm	Evaporación mm	Evapotranspiración mm
1	0,26	1,56	111,94	124,02	0,08	185,04	98,05	111,39	1,57	3,5	99,54	138,86
2	0,38	1,62	111,95	124,02	0,11	185,08	98,05	111,38	1,42	3,5	99,55	138,88
3	0,48	2,22	111,96	123,04	0,08	184,13	97,99	111,75	0,97	3,11	99,91	138,28
4	0,28	1,45	111	123,04	0,11	194,13	97,99	111,75	0,81	3,09	99,31	138,28
5	0,28	1,53	111,26	124,44	0,15	190,67	98,44	111,83	0,64	3,39	99,34	138,79
6	0,16	1,44	112,26	124,44	0,16	190	98,44	111,83	0,73	3,09	99,64	138,79
7	0,34	1,64	112,22	124,39	0,12	191,05	98,36	111,89	0,82	3,1	99,43	138,59
8	1,31	3	112,17	124,33	0,31	189,99	98,41	112,07	0,72	3,09	99,62	138,46
9	0,05	1,4	111,58	123,62	0,01	186,62	98,5	112,82	0,82	3,11	99,41	137,69
10	0,25	1,61	107,09	116,2	1,42	213,74	98,96	110,96	1,28	3,13	99,57	142,85
11	0,25	1,61	109,25	119,75	1,21	213,58	98,85	111,83	0,6	3,06	99,67	141,76
12	0,2	1,44	110,34	121,66	1,05	194,69	97,2	110,34	0,6	3,07	99,49	141,2
13	0	1,06	111	122,69	0,31	192,01	98,51	110,8	1,2	3,17	99,61	140,68
14	0,1	1,43	111,66	123,66	0,13	193,34	97,49	110,38	1,13	3,17	99,48	140,1
15	0,39	1,71	112,05	124,12	0,14	196,87	97,86	110,91	0,72	3,08	99,48	139,66
16	0,1	1,41	112,19	124,39	0,14	194,6	98,09	111,25	1,75	3,46	99,82	139,32
17	0	1,39	112	124,45	0,15	189,64	98,22	111,67	0,75	3,09	99,56	138,88
18	0,32	1,63	112,21	124,44	0,16	190,01	98,39	111,89	1	3,39	99,76	138,78
19	0,39	1,78	112,24	124,43	0,23	189,98	98,48	111,97	0,63	3,05	99,33	138,69

N° punto	2013				2014				2016 – 2017			
	PO ₄ ⁻³ mg.L ⁻¹	Precipitación mm	Evaporación mm	Evapotranspiración mm	PO ₄ ⁻³ mg.L ⁻¹	Precipitación mm	Evaporación mm	Evapotranspiración mm	PO ₄ ⁻³ mg.L ⁻¹	Precipitación mm	Evaporación mm	Evapotranspiración mm
20	0	1,48	111,01	124,03	0,72	190,21	98,78	112,93	0,65	3,08	99,66	137,94
21	0	1,87	111,01	123,76	0,01	181,77	98,89	113,32	0,68	3,07	99,57	137,73
22	0,3	1,6	111,7	123,75	0,55	189,52	98,24	113,36	1,05	3,12	99,59	137,74
23	0,34	1,65	112,21	124,39	0,15	190,01	98,38	111,95	0,38	3	99,53	138,56
24	0,3	1,65	111	124,1	0,16	193,72	98,12	111,58	1,73	3,47	99,84	138,72
25	0,32	1,6	111,98	124,02	1,2	194,78	98,07	111,42	1,6	3,49	99,55	138,84
26	0,38	1,66	111,85	123,91	0,11	192,83	98,16	111,8	1,4	3,45	99,55	138,49

4.4.1 Análisis estadístico de las concentraciones de fosfatos vs condiciones climáticas: año 2013

El modelo de regresión lineal se determinó a través de un análisis de correlación, ya que, este es un indicativo del grado de asociación entre variables, para ver si existe o no dependencia entre ellas, por consiguiente, se determina si ingresan o no al modelo de regresión. En la Tabla 11 se observa el valor de los factores de correlación para las variables fosfatos, precipitación, evaporación y evapotranspiración, donde la variable dependiente serán los fosfatos en función de las condiciones climáticas.

Tabla 11
Análisis de correlación para el año 2013

Descripción		Fosfatos	Precipitación	Evaporación	Evapotranspiración
Fosfatos	Correlación de Pearson	1	0,880	0,201	0,096
	Significancia (bilateral)		0	0,326	0,639
	Número de puntos	26	26	26	26

De acuerdo a la Tabla 11 se observa que existe un factor de correlación de 0,880 para las variables: fosfatos vs precipitación indicando la existencia de una correlación positiva fuerte (Levin & Rubin, 2004), con un valor de significancia de 0 menor a 0,05 indicando una correlación significativa y dependencia de estas variables, mientras que las variables evaporación y evapotranspiración tienen una correlación débil con un valor de significancia mayor a 0,05, por lo tanto, son variables independientes en relación a la concentración de fosfatos. Esto es un indicativo de que las variable evaporación y evapotranspiración no deberían ingresar al modelo de regresión lineal (Pedroza & Dicoovskyi, 2006). Sin embargo, para este estudio se las tomó en consideración en el modelo de regresión para el año 2013, para analizar si existe o no influencia de estas variables independientes, solamente como una manera de comprobación en el resultado de correlación débil, sobre la variable dependiente “concentración de fosfatos”.

4.4.1.1 Método de regresión lineal múltiple: año 2013

En la Tabla 12 se observa el análisis de ANOVA para la prueba F, el cual indica el nivel de significancia del modelo de regresión, es decir explica si el modelo de regresión estadísticamente está bien. En la Tabla 12 se observa la construcción de dos modelos estadísticos para la prueba F, el primer modelo explica la relación de la variable dependiente “fosfatos”, en función de la variable independiente precipitación, que como se vio en la Tabla 11, de análisis de correlaciones fue la variable que mayor grado de significancia presentó. En el segundo modelo se observa por el contrario, la correlación de la variable dependiente en función de las variables independientes “precipitación”, “evaporación” y “evapotranspiración”, de acuerdo al valor de significancia de F los modelos presentan valores de 0 menores a 0,05, lo que indica un modelo de regresión significativo (Pedroza & Dicovskyi, 2006) .

Tabla 12
Modelo para la significación de la prueba F-test

ANOVA ^a						
Modelo		Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	Significancia
1	Regresión	1,246	1	1,246	82,781	0,000b
	Residuo	0,361	24	0,015		
	Total	1,607	25			
2	Regresión	1,277	3	0,426	28,386	0,000c
	Residuo	0,33	22	0,015		
	Total	1,607	25			
a. Variable dependiente: fosfatos						
b. Predictores: (Constante), precipitación						
c. Predictores: (Constante), precipitación, evaporación y evapotranspiración						

La Tabla 13 explica el resumen del modelo de la regresión, donde el primer modelo presenta un R^2 de 0,775, es decir, el modelo explica el 77% la variación de la variable dependiente, por la variable independiente precipitación, mientras que el segundo modelo presentó un R^2 de 0,795, es decir, este modelo explica el 79 % la variación de la variable dependiente.

El R^2 ajustado indica la fidelidad del modelo, en el primer modelo las variables independientes explican el 76,6% mientras que el segundo modelo el 76,7%, por lo que no hay una variabilidad significativa si se trabaja con la precipitación, o conjuntamente con la evaporación y evapotranspiración (Pedroza & Dicovskyi, 2006).

Tabla 13
Resumen de modelo de regresión lineal múltiple

Modelo	R	R ²	R ² ajustado	Error estándar de la estimación
1	0,880 ^a	0,775	0,766	0,12269
2	0,891 ^b	0,795	0,767	0,12247
a. Predictores: (Constante), Precipitación				
b. Predictores: (Constante), Precipitación, evaporación, evapotranspiración				

En la Tabla 14, de acuerdo a la significancia de t, las variables que explican las concentraciones de fosfatos son la precipitación en el caso del primer modelo, y en el segundo modelo la precipitación, a excepción de las variables evaporación y evapotranspiración, puesto que presentaron un valor de significancia mayor a 0,05, esto indica que no aportan de manera significativa al modelo, y no justifican la presencia de concentraciones de fosfatos. (Pedroza & Dicovskyi, 2006)

Tabla 14
Coefficientes (β), determinados para la ecuación de regresión múltiple

Coefficientes ^a						
Modelo		Coefficientes no estandarizados		Coefficientes estandarizados	t	Significancia
		β	Error estándar	β		
1	(Constante)	-0,782	0,119		-6,588	0,000
	Precipitación	0,648	0,071	0,880	9,098	0,000
2	(Constante)	-4,813	3,102		-1,552	0,135
	Precipitación	0,622	0,073	0,846	8,481	0,000
	Evaporación	0,098	0,068	0,439	1,433	0,166
	Evapotranspiración	-0,056	0,043	-0,396	-1,303	0,206
a. Variable dependiente: fosfatos						

Por lo tanto, se eligió el primer modelo, pues, se observó de acuerdo al nivel de significancia de los coeficientes (β), que la evaporación y evapotranspiración no aportan al modelo de regresión, teniendo como resultado la ecuación de la siguiente manera:

$$\text{Concentración PO}_4^{-3} = -0,782 + 0,648(\text{precipitación mm})$$

4.4.2 Análisis estadístico de las concentraciones de fosfatos vs condiciones climáticas: año 2014

El modelo de regresión lineal se determinó a través de un análisis de correlación, ya que, este es un indicativo del grado de asociación entre variables, para ver si existe o no dependencia entre ellas, por consiguiente, se determina si ingresan o no al modelo de regresión. En la Tabla 15 se observan los valores de los factores de correlación para las variables fosfatos, precipitación, evaporación y evapotranspiración, donde la variable dependiente serán los fosfatos en función de condiciones climáticas.

Tabla 15
Análisis de correlación para el año 2014

Descripción		Fosfatos	Precipitación	Evaporación	Evapotranspiración
Fosfatos	Correlación de Pearson	1	0,739	0,158	0,192
	Significancia (bilateral)		0	0,442	0,349
	Número de puntos	26	26	26	26

De acuerdo a la Tabla 15 se observa que existe un factor de correlación de 0,739 para las variables: fosfatos vs precipitación, indicando la existencia de una correlación positiva fuerte (Levin & Rubin, 2004), con un valor de significancia de 0 menor a 0,05 indicando una correlación significativa con dependencia de estas variables, mientras que las variables evaporación y evapotranspiración tienen una correlación débil con un valor de significancia mayor a 0,05 por lo tanto son variables independientes. (Pedroza & Dicovskyi, 2006)

Las variable evaporación y evapotranspiración, no deberían ingresar al modelo de regresión lineal, pues, en el análisis realizado para el año 2013, se observó que si se tomaba en cuenta estas variables dentro del modelo, no aportan de manera significativa, considerándose solamente la variable precipitación en la construcción del modelo de estimación para el año 2014.

4.4.2.1 Método de regresión lineal: año 2014

En la Tabla 16, se observa el análisis de ANOVA para la prueba F, el cual indica el nivel de significancia del modelo de regresión y si estadísticamente está bien. En la Tabla 16 se observa la construcción de un modelo, que explica la relación de la variable dependiente “fosfatos”, en función de la variable independiente precipitación. Dado que el valor de significancia de F es de 0 menor a 0.05, indica que el modelo es bueno para explicar el comportamiento de las concentraciones de fosfatos estadísticamente. (Pedroza & Dicovskyi, 2006)

Tabla 16
Modelo para la significación de la prueba F-test

ANOVA ^a						
Modelo		Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	Significancia
1	Regresión	2,323	1	2,323	28,824	0,000 ^b
	Residuo	1,934	24	0,081		
	Total	4,257	25			
a. Variable dependiente: fosfatos						
b. Predictores: (Constante), precipitación						

En la Tabla 17 se observa el resumen del modelo de regresión, donde el modelo presenta un R^2 de 0,546, es decir que el modelo explica el 54,6% la variación de la variable dependiente por la variable independiente precipitación, y con un R^2 ajustado del 52,7% (Pedroza & Dicovskyi, 2006).

Tabla 17
Resumen del modelo de regresión lineal

Modelo	R	R ²	R ² ajustado	Error estándar de la estimación
1	0,739 ^a	0,546	0,527	0,283

a. Predictores: (Constante), Precipitación

En la Tabla 18, de acuerdo a la significancia de t, la variable precipitación explica de manera significativa el modelo de regresión, presentando un valor de significancia de 0 siendo menor a 0,05. Quedando la ecuación de regresión de la siguiente manera:

$$\text{Concentración PO}_4^{-3} = -7,713 + 0,042(\text{precipitación})$$

Tabla 18
Coefficientes (β), determinados para la ecuación de regresión

Coeficientes ^a						
Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Significancia
		β	Error estándar	β		
1	(Constante)	-7,713	1,502		-5,136	0,000
	Precipitación	0,042	0,008	0,739	5,369	0,000

a. Variable dependiente: fosfatos

4.4.3 Análisis estadístico de las concentraciones de fosfatos vs condiciones climáticas: año 2016 y 2017

El modelo de regresión lineal se determinó a través de un análisis de correlación, ya que, este es un indicativo del grado de asociación entre variables, para ver si existe o no dependencia entre ellas, por consiguiente, se determina si ingresan o no al modelo de regresión. En la Tabla 19 se observa el valor de los factores de correlación para las variables fosfatos, precipitación, evaporación y evapotranspiración, donde la variable dependiente serán los fosfatos en función de condiciones climáticas.

Tabla 19
Análisis de correlación para el año 2016 y 2017

Descripción		Fosfatos	Precipitación	Evaporación	Evapotranspiración
Fosfatos	Correlación de Pearson	1	0,821	0,396	0,073
	Significancia (bilateral)		0,000	0,045	0,722
	Número de puntos	26	26	26	26

De acuerdo a la Tabla 19, se observa que existe un factor de correlación de 0,821, para las variables: fosfatos vs precipitación indicando la existencia de una correlación positiva fuerte (Levin & Rubin, 2004) con un valor de significancia de 0 menor a 0,05 señalando una correlación significativa, directamente proporcional, del mismo modo las variables fosfatos vs evaporación presentan un factor de correlación de 0,396 lo que indica una correlación positiva débil, sin embargo, el valor de significancia es de 0,045 inferior a 0,05 indicando que son variables dependientes (Pedroza & Dicovskyi, 2006). Por lo que al modelo de regresión ingresarán las variables fosfatos en función de las variables precipitación y evaporación.

4.4.3.1 Método de regresión lineal: año 2016 y 2017

En la Tabla 20, se observa el análisis de ANOVA para la prueba F, el cual indica el nivel de significancia del modelo de regresión y si estadísticamente está bien. También se observa la construcción de un modelo, que explica la relación de la variable dependiente “fosfatos”, en función de las variables independientes precipitación, y evaporación. Dado que el valor de significancia de F es de 0 menor a 0.05, por ende el modelo es bueno para explicar el comportamiento de las concentraciones de fosfatos estadísticamente. (Pedroza & Dicovskyi, 2006)

Tabla 20
Modelo para la significación de la prueba F-test

ANOVA ^a						
Modelo		Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	Significancia
1	Regresión	2,745	2	1,372	28,881	0,000 ^b
	Residuo	1,093	23	0,048		
	Total	3,838	25			
a. Variable dependiente: fosfatos						
b. Predictores: (Constante), precipitación, evaporación						

La Tabla 21 explica el resumen del modelo de regresión, donde el modelo presenta un R^2 de 0,715, es decir que el modelo explica el 71,5% de la varianza de la variable dependiente en relación a las variables independientes precipitación y evaporación, con un R^2 ajustado del 69%.

Tabla 21
Resumen del modelo de regresión lineal múltiple

Modelo	R	R^2	R^2 ajustado	Error estándar de la estimación
1	0,846 ^a	0,715	0,690	0,21799
a. Predictores: (Constante), precipitación, evaporación				

En la Tabla 22, se observa de acuerdo a la significancia de t, que la variable precipitación explica de manera significativa el modelo de regresión con un valor de significancia de 0, mientras que la variable evaporación no aporta de manera significativa al modelo con un valor de 0,083 siendo mayor a 0,05 (Pedroza & Dicoovskyi, 2006). Quedando la ecuación de regresión de la siguiente manera:

$$\text{Concentración PO}_4^{-3} = -58,903 + 1,721(\text{precipitación}) + 0,546(\text{evaporación})$$

Tabla 22
Coefficientes (β), determinados para la ecuación de regresión

Coefficientes ^a						
Modelo		Coefficientes no estandarizados		Coefficientes estandarizados	t	Significancia
		β	Error estándar	β		
1	(Constante)	-58,903	29,801		-1,977	0,060
	Precipitación	1,721	0,256	0,770	6,713	0,000
	Evaporación	0,546	0,301	0,208	1,813	0,083

a. Variable dependiente: fosfatos

Del análisis realizado para los cuatro años se puede deducir que la concentración de fosfatos está íntimamente relacionada con la precipitación, concluyendo que son variables directamente proporcionales, es decir, a mayor intensidad de lluvias mayor será la concentración de fosfatos en las aguas de río Grande. También, se confirmó que las variables evaporación y evapotranspiración no justifican la presencia de fosfatos en el agua, lo cual se demostró mediante el método de correlación y regresión lineal múltiple, puesto que, el Fósforo en forma de fosfatos se encuentra solamente en el agua por su difícil disolución.

4.5 Búsqueda y análisis de los suelos para la elaboración de un Tecnosol que retenga fosfatos

4.5.1 Caracterización física de los suelos para desarrollar un Tecnosol que retenga Fosfatos

Caracterizar los suelos de acuerdo a sus parámetros físicos ayuda a conocer el comportamiento del recurso, sobre todo con respecto a la interacción con el agua y el transporte de elementos sobre este. A los 15 primeros perfiles de suelo muestreados se les realizó la caracterización física por medio de la medición de la humedad, densidad, porosidad y textura (Tabla 23). En la Figura 26 se observa la distribución de la humedad en los diferentes perfiles de suelo analizados en los años 2016 y 2017.

Tabla 23
Propiedades Físicas de los perfiles de suelo

N° de perfil	Cultivo	Fecha	Humedad %	Densidad aparente g.(cm ³) ⁻¹	Densidad real g.(cm ³) ⁻¹	Porosidad %	Textura
1	Sin cultivo	Febrero 2016	47,49	1,04	2,10	50,44	Arcillas
2	Naranjos	Febrero 2016	28,18	1,19	2,07	42,62	Texturas Francas
3	Plátano	Febrero 2016	29,43	1,22	2,23	45,17	Texturas Francas
4	Cacao	Febrero 2016	32,98	1,04	2,08	49,79	Texturas Francas
5	Cacao y plátano	Febrero 2016	39,21	1,22	2,04	40,08	Texturas Francas
6	Plátano	Febrero 2016	54,03	1,06	1,90	44,21	Texturas Francas
7	Pasto	Agosto 2016	29,60	1,18	2,39	50,56	Arcillas
8	Maíz	Agosto 2016	38,60	1,14	2,34	51,00	Arcillas
9	Sin cultivo	Agosto 2016	50,64	1,1	2,15	48,91	Texturas Francas
10	Naranja y mandarina	Agosto 2016	42,27	1,00	2,28	56,14	Arcillas
11	Cacao	Agosto 2016	36,59	0,98	2,27	56,56	Arcillas
12	Cítricos	Agosto 2016	29,51	1,18	2,45	51,62	Arcillas
13	Cítricos	Agosto 2016	36,96	1,14	2,18	47,47	Texturas Francas
14	Cacao	Agosto 2016	24,69	1,20	2,25	46,60	Texturas Francas
15	Sin cultivo	Agosto 2016	21,39	1,11	2,41	54,00	Arcillas

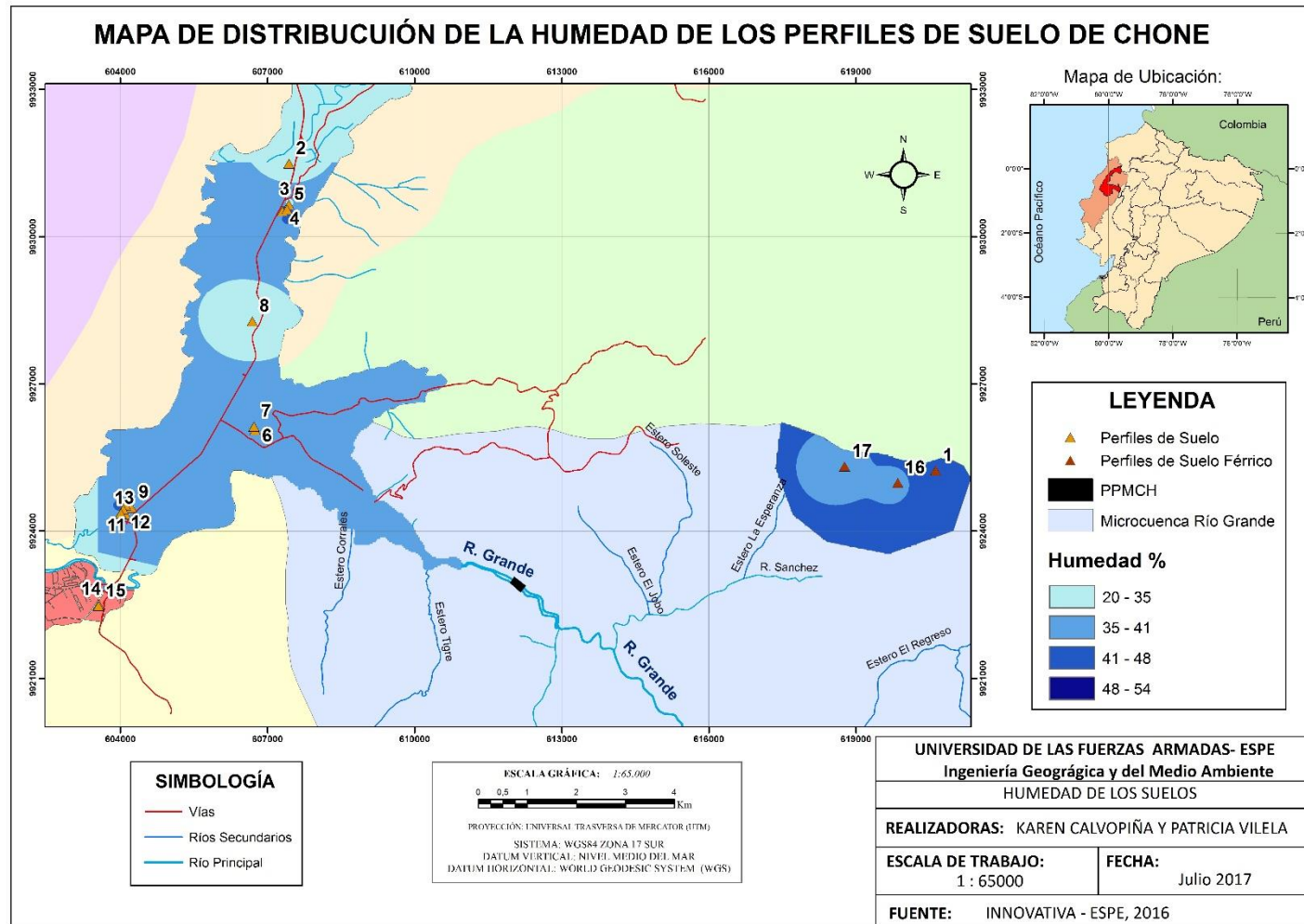


Figura 26 Mapa de distribución de la humedad en los 17 perfiles de Suelo muestreados en Chone año 2016

En la Tabla 23 se muestran los valores de humedad medidos en los perfiles de suelo tomando en cuenta como el período de lluvia al mes de febrero y como el período de sequía al mes de agosto en el año 2016. Los valores de humedad no tienen una diferencia notoria a pesar de ser tomados en diferentes épocas como se puede observar en la Figura 26. Esta similitud en los valores puede ser, a causa de, las diferentes actividades antrópicas llevadas a cabo en cada punto de muestreo, en donde se destaca principalmente la agricultura con cultivos de frutales. El punto 6 mostró el porcentaje de humedad más alto de la época de lluvia con un valor de 54,03%, probablemente este incremento en el valor de humedad, se debió a que en este suelo existían cultivos de plátano y esta es una plantación que requiere mucha más agua que otras especies de frutales (Castaño , Aristizábal, & González, 2011).

En cuanto a la densidad aparente, según la Tabla 23, los 15 perfiles de suelo presentaron valores inferiores a $1,70 \text{ g} \cdot (\text{cm}^3)^{-1}$ siendo este un indicador de que son suelos que poseen una buena conductividad hidráulica, así como también, se puede inferir , de acuerdo a su densidad real estos son suelos con alto contenido de materia orgánica por haber tenido los 15 perfiles valores inferiores a $2,65 \text{ g} \cdot (\text{cm}^3)^{-1}$, que es un indicador de una buena fertilidad del suelo que favorece al crecimiento de los cultivos existentes en la zona de Chone (Carrera, Guevara, & Gualichicomín, 2014).

4.5.2 Caracterización química de los suelos para desarrollar un Tecnosol que retenga fosfatos

Una vez realizada la caracterización física se procedió a determinar los parámetros químicos, estos ayudan a determinar la productividad del suelo y los nutrientes disponibles para las plantas. Uno de los parámetros más importantes para este estudio fue el pH porque determina el comportamiento del suelo con respecto a los fosfatos.

Se caracterizó los extractos de saturación de los perfiles de suelo para realizar la medición de pH, conductividad eléctrica y los cationes solubles (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}). Los resultados de las mediciones se observan en la Tabla 24.

Tabla 24
Propiedades Químicas de los perfiles de suelo

N°	pH	CE	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
		dS.m ⁻¹	cmol.kg ⁻¹	cmol.kg ⁻¹	cmol.kg ⁻¹	cmol.kg ⁻¹
Perfil 1	4,90	0,05100	0,026474	0,00095	0,00114	0,00221
Perfil 2	6,50	0,16800	0,025113	0,02177	0,03281	0,02430
Perfil 3	7,39	0,28500	0,039083	0,04062	0,02653	0,02803
Perfil 4	7,52	0,31000	0,047610	0,02257	0,05662	0,02416
Perfil 5	6,41	0,10400	0,022750	0,00777	0,01473	0,01109
Perfil 6	7,43	0,15300	0,026268	0,02141	0,01832	0,01231
Perfil 7	6,91	0,33800	0,007313	0,00304	0,00630	0,00287
Perfil 8	6,64	0,65700	0,008191	0,00444	0,01015	0,00432
Perfil 9	7,17	0,63400	0,009040	0,00682	0,00965	0,00646
Perfil 10	6,93	0,26200	0,005610	0,00325	0,00529	0,00236
Perfil 11	6,84	0,30700	0,006325	0,00330	0,00484	0,00275
Perfil 12	6,60	0,24900	0,005635	0,00178	0,00541	0,00167
Perfil 13	7,10	0,33300	0,004030	0,00221	0,00519	0,00151
Perfil 14	6,60	0,54200	0,008520	0,00456	0,01560	0,00432
Perfil 15	6,60	0,30200	0,008000	0,00185	0,00355	0,00180

Como se puede observar en la Tabla 24 de acuerdo a la NOM-021-SEMARNAT-2000 los valores de pH en los 11 de los 15 perfiles de suelo fueron del tipo neutro comprendidos entre los valores de 6,60 a 7,30, estos son los perfiles 2, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 y 15, esto indica que son suelos con una buena asimilación de nutrientes para las plantas, puesto que existe una mayor solubilidad de Fósforo inorgánico (Undurraga, 2013). Mientras que los perfiles 3 y 4 se encontraron en el rango de moderadamente alcalinos y el perfil 1 se calificó como fuertemente ácido, así pues, esto hace que disminuya la solubilidad de compuestos fosfatados formando compuestos químicos insolubles en el suelo. Por otro lado, los valores de conductividad eléctrica en todos los perfiles de suelo presentaron valores menores a 1,00 dS.m⁻¹ indicando que son suelos no salinos, mientras que los cationes solubles presentaron concentraciones bajas en el total de perfiles analizados. En la Figura 27 se representan los valores de CE y pH medidos en los 15 perfiles de suelo.

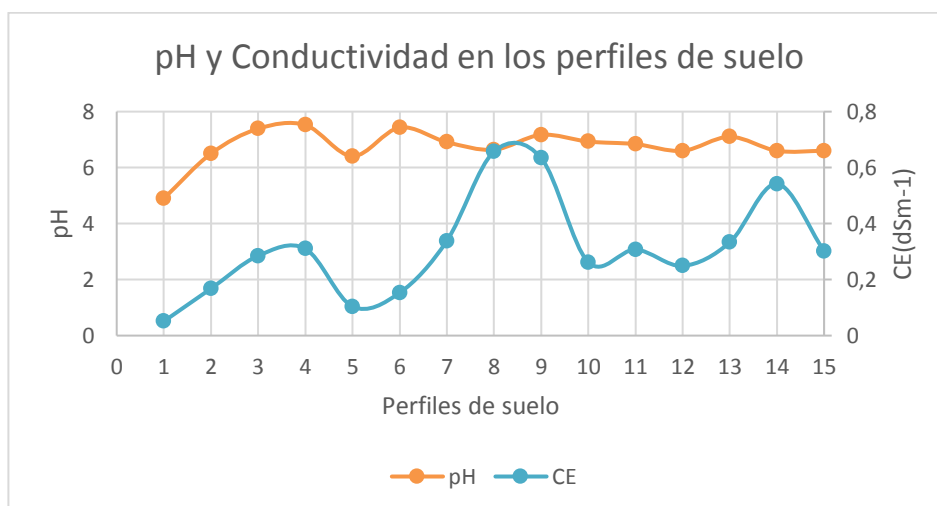


Figura 27 Gráfico de barras de CE de los suelos en función de su pH

Como resultado de los análisis físicos y químicos de los suelos se escogieron los perfiles 1, 2 y 5 para caracterizarlos y encontrar el suelo más apto para la retención de fosfatos en el Tecnosol. Se eligieron los suelos 2 y 5 de texturas francas por el tipo de cultivo (naranja y cacao), debido a que estos cultivos son los representativos del cantón y el suelo 1, de textura arcillosa, por ser férrico sin cultivos. Estos suelos poseen arcillas con una porosidad alta, que junto a la humedad facilita la formación de películas de agua, logrando enlaces interatómicos insatisfechos para atraer iones (Barzallo, Bayas, Yáñez, & Carrera, 2016).

Los suelos seleccionados fueron de la época de lluvia porque es en este temporal donde existe mayor concentración de fosfatos en el agua del sistema hidrográfico y esto hace que los procesos de eutrofización se aceleren significativamente, esto se pudo evidenciar en estudios anteriores hechos al sistema hidrográfico de río Grande como el de (Carrera, Guevara, Gualichicomín, & Maya, 2015). De igual forma se tomaron los perfiles de suelo que presentaron un pH inferior a 6.6 los cuales según la NOM-021-SEMARNAT-2000 se los considera como suelos ácidos. El pH es primordial para encontrar un suelo que retenga Fósforo, porque cuando el suelo presenta un pH ácido se espera una mayor cantidad de Aluminio (Al^{+3}). Este elemento influye directamente en la retención de Fósforo al hacer que los suelos formen compuestos insolubles de Aluminio, por lo cual, se produce una inmovilización de los aniones fosfatos, que son uno de los causantes de la eutrofización del agua de la presa (Undurraga, 2013).

4.5.3 Análisis químico de las tres muestras de suelo seleccionadas para desarrollar un Tecnosol que retenga fosfatos

Para la elaboración de un Tecnosol que retenga fosfatos es necesario que el suelo cumpla con unas características químicas específicas que se midieron a través de los parámetros de Fósforo, Aluminio, capacidad de intercambio catiónico y retención de Fósforo del suelo. Una vez elegidos los tres perfiles se realizaron estos análisis químicos. En la Tabla 25 se muestra los valores medidos en los tres perfiles de suelo, es necesario mencionar que estos análisis se los realizó en el Laboratorio de Tecnología Ambiental de la Universidad de Santiago de Compostela-España.

Tabla 25
Propiedades químicas del suelo y su capacidad para retener Fósforo

N°	pH	Fósforo mg.L ⁻¹	Acidez Intercambiable cmol.kg ⁻¹	Aluminio Intercambiable cmol.kg ⁻¹	K ⁺ cmol.kg ⁻¹	Ca ²⁺ cmol.kg ⁻¹	Mg ²⁺ cmol.kg ⁻¹	Na ⁺ cmol.kg ⁻¹	Bases totales Intercambiables cmol.kg ⁻¹	Retención de Fósforo (%)
Perfil 1	4,9	< 3,5	3,14	1,80	0,40	10,06	4,79	0,79	16,04	42,89
Perfil 2	6,59	37,00	0,00	<0,12	4,13	21,80	4,72	0,14	30,79	12,27
Perfil 5	6,40	124,00	0,00	<0,12	1,23	22,60	5,82	0,20	29,85	13,96

El perfil 1 de la Tabla 25 presentó un pH de 4,90 calificándolo como fuertemente ácido, mientras que el perfil 2 tuvo un pH de 6,40 siendo moderadamente ácido y el perfil 5 presentó un pH de 6,60 que se lo considera como neutro (NOM-021-SEMARNAT-2000).

La presencia de Fósforo en los perfiles analizados fue de 6,00 mg/l en el perfil 1, de 37,00 mg.L⁻¹ en el perfil 2 y de 124,00 mg.L⁻¹ en el perfil 5. La diferencia es muy grande, esto podría deberse a que la presencia de Fósforo disponible para las plantas debe ser mayor en los suelos que tienen cultivos, es decir, los perfiles 2 y 5 a diferencia del perfil 1 donde no existía ningún tipo de cultivo. Al ser suelos cultivados son tratados con fertilizantes que añaden al suelo los nutrientes necesarios para las plantas como el Fósforo (P), Calcio (Ca), Potasio (K), etc., razón por la cual los valores medidos de P, Ca, y K son notoriamente más altos en los perfiles cultivados.

El aspecto más importante analizado en estos perfiles fue la retención de fosfatos, como se puede observar en la Tabla 25 los perfiles 1, 2 y 5 presentaron una retención de 60,96%, 12,27% y 13,96% respectivamente, siendo el perfil 1 el que tuvo una mayor retención de Fósforo casi cinco veces más que los otros suelos. Se puede destacar también la presencia de Aluminio en los suelos, mientras exista una cantidad mayor de este metal en el suelo la capacidad de retención de Fósforo aumenta notablemente (Alcalá de Jesús, Hidalgo Moreno, & Gutiérrez Castorena, 2009). La presencia de Aluminio en los perfiles fue de 2,38 cmol.kg⁻¹ en el perfil 1 y <0.12 cmol.kg⁻¹ en los perfiles 2 y 5, por lo que el perfil 1 es el que más Fósforo retiene de los tres.

Una vez concluidos y analizados los resultados obtenidos de las muestras de los tres perfiles se concluyó que el suelo más apto para la realización de Tecnosoles con la capacidad de retención de Fósforo fue el perfil 1, por lo tanto, se lo clasificó como suelo rojo férrico sin cultivos. Se realizó un segundo y tercer muestreo en los meses de agosto 2016 y febrero 2017 en la zona de estudio donde se obtuvieron dos muestras adicionales de suelo férrico en época de sequía y otra en época de lluvia, a estas muestras se les realizaron los mismos estudios físicos y químicos que en la Universidad de Santiago de Compostela, para establecer cuál de los tres perfiles férricos es el más apto para la realización del Tecnosol que retenga Fósforo.

4.5.4 Análisis físicos de las tres muestras de suelo férrico para desarrollar un Tecnosol que retenga fosfatos

Una vez muestreados los tres suelos férricos en las dos épocas adicionales se procedió a realizar los análisis de las propiedades físicas de los mismos para poder elegir un perfil que se ajuste de mejor forma a las características deseadas para el fin del proyecto, estos análisis fueron de: humedad, densidad, porosidad y textura, en la Tabla 26 se muestran los resultados del muestreo del mes de agosto 2016 en época de sequía y del mes de febrero 2017 en época de lluvia.

Tabla 26
Propiedades físicas de los perfiles férricos en época de sequía

N°	Época	Humedad %	Densidad aparente $\text{g} \cdot (\text{cm}^3)^{-1}$	Densidad real $\text{g} \cdot (\text{cm}^3)^{-1}$	Porosidad %	Textura
Perfil 1	sequía	47,49	1,04	2,1	50,44	Arcillas
Perfil 16	sequía	40,04	1	2,18	54,09	Arcillas
Perfil 17	sequía	40,43	1,02	2,07	50,72	Arcillas
Perfil 1	lluvia	50,53	1,1	2,20	49,94	Arcillas
Perfil 16	lluvia	58,24	1	2,25	55,60	Arcillas
Perfil 17	lluvia	57,09	1	2,38	58,24	Arcillas

Como se muestra en la Tabla 26 el porcentaje de humedad tiene una variación no muy marcada entre las dos épocas pero que si se distingue, en lluvia el porcentaje de humedad más alto fue el del perfil 16 con el 58,24% y el más bajo fue el del perfil 1 con 50,53%, mientras que en la época de sequía el perfil 1 presentó el porcentaje más alto de humedad con 47,49% y el de menor fue el del perfil 16 con 40,04%, a pesar de las diferentes épocas de muestreo el porcentaje de humedad en los perfiles no tiene una variación muy notable, esto se debe a su porosidad y a la evapotranspiración, esta característica define además del tipo la retención de humedad del suelo la infiltración del agua en el mismo.

Como se puede observar en la Tabla 26 la porosidad de los tres perfiles del suelo está entre 50,00% - 55,00%, aproximadamente esto corresponde a un tipo de suelo arcilloso según (Carrera, 2011). La cantidad y el tipo de arcilla que contenga el suelo ayuda en la fijación del Fósforo del mismo, mientras más cantidad de arcilla haya en el suelo mayor será la fijación de Fósforo (Sanguino Sote, 1961). También se puede concluir los tipos de minerales existentes en el suelo de acuerdo a la densidad aparente medida en el suelo. Según la Tabla 26 la densidad aparente medida en los tres perfiles de suelo está entre 1,00 a 1,19 g.cm⁻³ lo que corresponde a minerales arcillosos según la NOM-021-SEMARNAT-2000. Los Suelos arcillosos son suelos con textura fina, estos suelos tienen una mayor capacidad de absorción de aniones, por lo cual la textura de suelo ayudará a la retención del Fósforo (Sanzano, 2017).

4.5.5 Análisis químicos de las tres muestras de suelo férrico para desarrollar un Tecnosol que retenga fosfatos

Una vez realizados los análisis físicos de las muestras de suelo se procedió a realizar los extractos de suelo 1:5, 1:10 y de saturación que es el más representativo como dicta la NOM-021-SEMARNAT-2000, para medir la conductividad eléctrica de los perfiles en cada extracto, la conductividad eléctrica mide la fertilidad del suelo y la presencia o no de sales. En la Tabla 27 se muestra los resultados de la medición de conductividad eléctrica en los extractos de suelo.

Tabla 27
Resultados de CE en los extractos de los perfiles de suelo férrico

N°	ÉPOCA	Extracto 1:5	Extracto 1:10	Extracto de Saturación
		CE (dS.m ⁻¹)	CE (dS.m ⁻¹)	CE (dS.m ⁻¹)
Perfil 1	SEQUIA	0,009	0,007	0,030
Perfil 16	SEQUIA	0,008	0,006	0,027
Perfil 17	SEQUIA	0,009	0,006	0,029
Perfil 1	LLUVIA	0,020	0,020	0,051
Perfil 16	LLUVIA	0,012	0,007	0,024
Perfil 17	LLUVIA	0,010	0,007	0,024

En la Tabla 27 se muestran los valores de conductividad eléctrica medida en cada extracto de suelo como se puede observar en los seis extractos la CE fue menor a 1 dS.m^{-1} esto quiere decir que estos suelos con muy pocas sales y hacen que sean buenos asimiladores de fertilizantes (Barbaro, Karlanian, & Mata, 2014).

Para los análisis químicos de las dos épocas se envió a Agrocalidad que es la Agencia Ecuatoriana de Aseguramiento de la Calidad del Agro, que está adscrito al MAGAP, porque el laboratorio de Medio Ambiente de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE no cuenta con los equipos y ni los reactivos necesarios para realizar estas mediciones.. Los parámetros medidos para determinar la aptitud del suelo para retener Fósforo fueron: cantidad de Fósforo, Aluminio, capacidad de intercambio catiónico (CIC), acidez intercambiable y retención de Fósforo en la Tabla 28 se muestran los resultados enviados por las Agrocalidad.

Tabla 28
Propiedades químicas de los perfiles férricos en época de sequía

N°	ÉPOCA	pH	Fósforo (mg.L ⁻¹)	Acidez Intercambiable cmol.kg ⁻¹	Aluminio Intercambiable cmol.kg ⁻¹	K cmol.kg ⁻¹	Ca cmol.kg ⁻¹	Mg cmol.kg ⁻¹	Na cmol.kg ⁻¹	Bases totales cmol.kg ⁻¹	Retención de Fósforo (%)
Perfil 1	sequía	4,91	4,40	9,33	2,38	0,35	4,67	5,54	1,12	11,68	60,96
Perfil 16	sequía	3,74	< 3,5	16,00	3,40	0,24	3,44	13,60	0,82	18,10	54,60
Perfil 17	sequía	4,20	< 3,5	23,40	5,00	0,45	2,97	9,30	0,23	12,95	79,51
Perfil 1	lluvia	4,9	< 3,5	3,14	1,80	0,40	10,06	4,79	0,79	16,04	42,89
Perfil 16	lluvia	4,63	< 3,5	2,13	1,72	0,04	7,28	4,25	0,47	12,04	40,05
Perfil 17	lluvia	4,76	< 3,5	5,37	2,13	0,11	2,54	7,68	1,47	11,80	44,97

Como se puede observar en la Tabla 28 el pH de los tres perfiles de suelo en las dos épocas fue menor a cinco por lo que se los califica como fuertemente ácidos según la NOM-021-SEMARNAT-2000, este tipo de suelo no permiten que la planta disponga del Fósforo porque este se fija en el suelo, por esta razón cuando se quiere sembrar en estos suelos comúnmente se aplica cal (CaCO_3) para alcalinizar el suelo (Sanguino Sote, 1961), esto se puede comprobar en la Tabla 28 porque los valores de Fósforo disponible para las plantas en los seis perfiles de suelo son muy bajos. En la Figura 28 se observa cómo influye en pH del suelo para la disponibilidad de P según la empresa de fertilizantes (Yara, 2017).

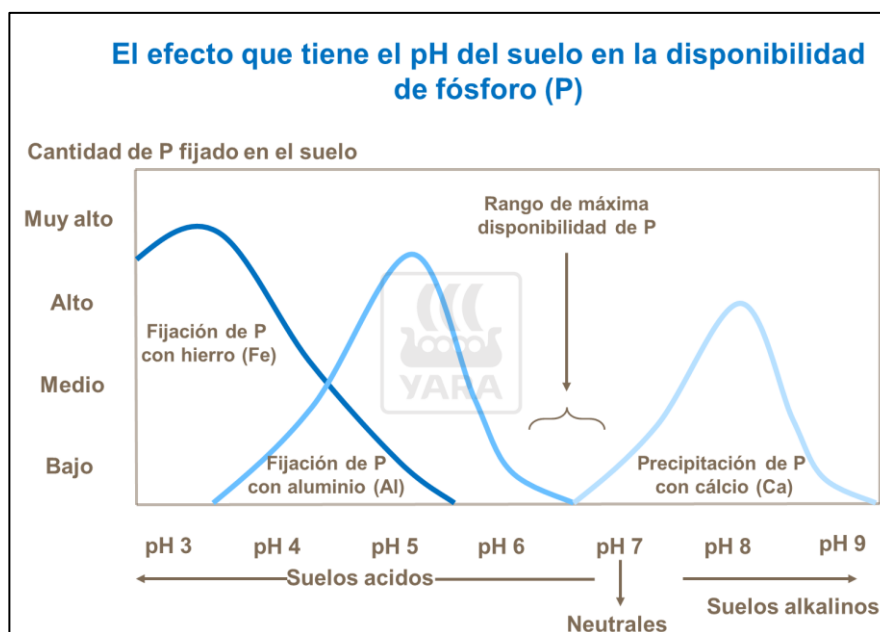


Figura 28 Efecto del pH del suelo y la disponibilidad de Fósforo

Fuente: (Yara, 2017)

Como se observa en la Figura 28 en pH ácido de suelo existe una fijación de Fósforo, el pH de los seis perfiles de suelo férrico se encontraron en el rango de 4 a 5 según la Tabla 28, por lo tanto existe una fijación de Fósforo con Aluminio. Para el caso de estudio es conveniente que el pH del suelo sea ácido, en este tipo de suelos el Aluminio está presente en cantidades respetables, este compuesto se puede presentar formando parte de la solución del suelo o como iones intercambiables, al aumentar la acidez del suelo también se aumenta la acción de los compuestos de hierro y Aluminio que al interactuar con los fosfatos solubles presentes en el suelo hacen que estos

queden fijos como compuestos complejos insolubles de Aluminio. Según Tabla 28 el perfil que registró una mayor retención de Fósforo en las dos épocas tuvo también los valores de Aluminio mayores, este fue el perfil 17 que en época de sequía registró el 79,51 % de retención de Fósforo y en época de lluvia el 44,97 % con valores de Aluminio intercambiable de 5 cmol.kg^{-1} y 2,13 cmol.kg^{-1} respectivamente, con lo que se pudo concluir que a mayor presencia de Aluminio en el suelo aumentará la retención de Fósforo del mismo (Alcalá de Jesús, Hidalgo Moreno, & Gutiérrez Castorena, 2009).

Llegando a la conclusión después de realizados todos los análisis correspondientes de que el mejor suelo para la realización del Tecnosol fue el perfil 17 que se acercó más a los requerimientos del proyecto. Es importante resaltar que el suelo que se utilizó para la realización del Tecnosol fue de época de lluvia porque fue la fecha del último muestreo y porque es la época del año en la que la eutrofización se acelera en el sistema hidrográfico.

4.6 Formulación de los Tecnoles y ensayo de retención de fosfatos

Los Tecnoles elaborados tuvieron siempre mayor porcentaje de suelo que el resto de componentes que lo formaron, es decir suelo del perfil 17. Los componentes de menor porcentaje del Tecnosol fueron derivados celulósicos (cáscara de arroz y aserrín), y sulfato de Aluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$). El Aluminio posee un elevado potencial para la retención de Fósforo por las características de la estructura de los precipitados de Aluminio que incrementan el área superficial en este caso del Tecnosol que será el que adsorba los fosfatos del agua (Soares, Yabroudi, & Morita, 2011). Los aditamentos, celulósico y el sulfato de Aluminio, del Tecnosol comprendieron aproximadamente el 30% de del total de su composición cumpliendo con la definición de Tecnosol de la World Reference Base for Soil Resources (WRB, 2007).

Se elaboraron siete propuestas diferentes de Tecnoles en total, 250g de cada uno. A las siete fórmulas de Tecnoles se les realizó una prueba de retención de fosfatos, este experimentos se lo llevo a cabo con el uso de columnas plásticas, donde se simuló un filtro y por este se pasó agua sintética con un valor inicial conocido de 1,25 mg/l de $(\text{PO}_4)^3$ durante tiempos determinados (Anexo 18 y 19) .

En el primer intento se elaboraron 3 Tecnosoles, uno con cada derivado celulósico y con sulfato de Aluminio y uno sin sulfato de Aluminio en diferentes proporciones. En la Tabla 29 se muestran las tres primeras formulaciones de los Tecnosoles.

Tabla 29
Porcentajes de cada elemento en la formulación de los tres primeros Tecnosoles

COMPONENTES	Suelo		Aserrín		Cáscara de arroz		Sulfato de Aluminio (Al(SO ₄) ₃)	
	%	g	%	g	%	g	%	g
Tecnosol 1	75	187,5	20	50	-	-	5	12,5
Tecnosol 2	75	187,5	-	-	20	50	5	12,5
Tecnosol 3	60	150	20	50	20	50	-	-

En la Tabla 29 se observan los porcentajes de cada compuesto utilizados en la preparación de los tres Tecnosoles, el 1 y el 2 tienen los mismos porcentajes de suelo, derivado celulósico y sulfato de Aluminio 75%, 20% y 5% respectivamente con la diferencia que el Tecnosol 1 se lo preparó con aserrín mientras que en Tecnosol 2 con cáscara de arroz. El Tecnosol 3 por el contrario se lo elaboró solo con aserrín y cáscara de arroz en un porcentaje de 20% de cada derivado y 60% de suelo.

A estos tres Tecnosoles se les realizó el experimento de retención de fosfatos, a cada uno se le paso dos litros de agua sintética y se midió el tiempo de filtrado a través de la columna, además, de las concentraciones finales de fosfatos del agua una vez haya actuado el Tecnosol. En la Tabla 30 se muestran los resultados de la aplicación del experimentos en las primeras tres mezclas.

Tabla 30
Retención de fosfatos de los tres primeros Tecnosoles

SOLUCIÓN	CI (mg.L ⁻¹) (PO ₄) ³⁻	CF (mg.L ⁻¹) (PO ₄) ³⁻	Tiempo de filtrado (h)	Retención de (PO ₄) ³⁻ (%)
Tecnosol 1	1,25	0,29	4	76,8
Tecnosol 2	1,25	0,26	3	79,2
Tecnosol 3	1,25	0,5	8	60

Como se puede observar en la Tabla 30 el Tecnosol 1 tuvo un tiempo de filtrado de cuatro horas y una retención del 76,8%, el Tecnosol 2 presentó el tiempo de filtrado menor de los tres con tres horas y una retención del 79,2% mientras que el Tecnosol 3 mostró una retención del 60% y el tiempo mayor de filtrado del agua de ocho horas, se puede concluir que el uso del aserrín aumentó los tiempos de filtrado del agua, esto puede deberse a que el aserrín aumenta la capacidad de retención del agua cuando se lo mezcla con el suelo porque al producirse la degradación biológica del aserrín genera microporos en el suelo, por esta razón, el aserrín es usado como aditivo para suelos arenosos haciendo que estos mejoren notablemente su retención de agua (Pineda, *et al.*, 2012).

Después de los resultados obtenidos una vez realizado el experimento a los tres Tecnoles se concluyó que el Tecnosol 2 fue el que presentó la mayor retención de fosfatos y el que menos tiempo se demoró en filtrar el agua, por lo tanto, se realizaron otras cuatro formulaciones utilizando solamente la cáscara de arroz que es un material liviano (Mayorga & Carrera, 2015), este derivado celulósico posee características capaces de inhibir el crecimiento de algas en aguas superficiales provocando una reducción significativa de su existencia según (Mariraj, 2012), que para fines del proyecto funciona como un extra porque la intención de la realización del Tecnosol es disminuir la eutrofización en el agua del sistema hidrográfico de río Grande y con esto el crecimiento de plantas acuáticas sobre el espejo de agua de la PPMCH. Además, de la cáscara de arroz se utilizó el sulfato de Aluminio y el suelo para las otras cuatro formulaciones en diferentes proporciones. En la Tabla 31 se muestran las cuatro mezclas de Tecnosol realizadas con cáscara de arroz.

Tabla 31
Porcentajes en la formulación de los Tecnosoles con cáscara de arroz

COMPONENTES	Suelo		Cáscara de arroz		Sulfato de Aluminio (Al(SO ₄) ₃)	
	%	g	%	g	%	g
Tecnosol 4	75	187,5	24,5	61,25	0,5	1,25
Tecnosol 5	75	187,5	24	60	1	2,5
Tecnosol 6	75	187,5	22,5	56,25	2,5	6,25
Tecnosol 7	75	187,5	15	37,5	10	25

Como se muestra en la Tabla 31 para las cuatro nuevas formulaciones de Tecnosoles se utilizó el mismo porcentaje de suelo del 75% y se variaron las cantidades de cáscara de arroz y de sulfato de Aluminio. El Tecnosol 4 se lo realizó con un 24,5% de cáscara de arroz y un 0,5% de sulfato de Aluminio. El Tecnosol 5 con un 24% de cáscara de arroz y un 1% de sulfato de Aluminio, el Tecnosol 6 con un 22,5% de cáscara de arroz y un 2,5% de sulfato de Aluminio y por último el Tecnosol 7 se lo elaboró con un 15% de cáscara de arroz y 10% de sulfato de Aluminio. A estos cuatro Tecnosoles se les realizó el mismo experimento de retención de fosfatos con columnas, pero en esta ocasión se pasó el agua por cada Tecnosol durante cuatro horas y se midió la concentración de (PO₄)³⁻ en el agua en la que actuó el Tecnosol cada hora con el uso del espectrofotómetro, sin tomar la concentración total sino parcial, es decir, no se mezcló el agua y se midió la concentración del agua que paso solo en esa hora. En la Tabla 32 se muestran los resultados del experimento de retención realizado al Tecnosol 4 en donde C_e es la concentración final medida a cada hora.

Tabla 32
Resultados del experimento de retención de fosfatos del Tecnosol 4

Tiempo (horas)	C _i (mg.L ⁻¹) (PO ₄) ³⁻	C _e (mg.L ⁻¹) (PO ₄) ³⁻	C adsorbida (mg.L ⁻¹) (PO ₄) ³⁻	Retención de (PO ₄) ³⁻ (%)
0	1,25	1,25	0	0
0,166	1,25	0,73	0,52	41,60
1	1,25	0,38	0,87	69,60
2	1,25	0,35	0,90	72,00
3	1,25	0,20	1,05	84,00
4	1,25	0,18	1,07	85,60

En la Tabla 32 se puede observar el comportamiento del Tecnosol 4 en cuanto a la adsorción de fosfatos, se puede notar que a medida que el tiempo aumenta la adsorción también aumenta y la retención de la misma forma, mientras que la concentración de fosfatos en el agua disminuye, en la Figura 29 se muestra la cinética de remoción del Tecnosol 4 sobre los fosfatos del agua.

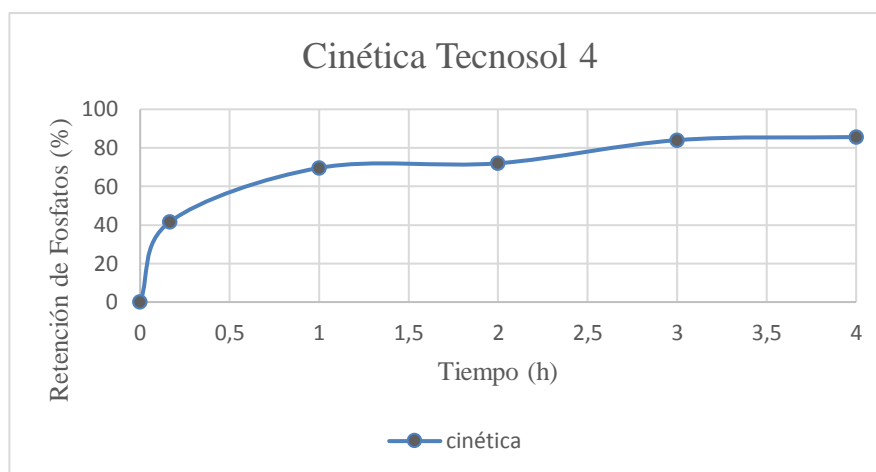


Figura 29 Cinética de remoción de $(\text{PO}_4)^{3-}$ a $1,25 \text{ mg.L}^{-1}$ con el Tecnosol 4

En la Figura 29 se indica el comportamiento de adsorción del Tecnosol 4 sobre el agua sintética con fosfatos en un rango de 0 a 4 horas mientras se realizó el experimento donde a las cuatro horas presentó una remoción de 86,5%. Se hizo el mismo procedimiento con los otros tres Tecnosoles. En la Tabla 33 se muestran los resultados del experimento de retención de fosfato realizado al Tecnosol 5.

Tabla 33

Resultados del experimento de retención de fosfatos del Tecnosol 5

Tiempo (horas)	Ci (mg.L^{-1}) $(\text{PO}_4)^{3-}$	Ce (mg.L^{-1}) $(\text{PO}_4)^{3-}$	C adsorbida (mg.L^{-1}) $(\text{PO}_4)^{3-}$	Retención de $(\text{PO}_4)^{3-}$ (%)
0	1,25	0	0	0
0,166	1,25	0,55	0,70	56,00
1	1,25	0,18	1,07	85,60
2	1,25	0,16	1,09	87,20
3	1,25	0,14	1,11	88,80
4	1,25	0,12	1,13	90,40

En la Tabla 33 se presenta el comportamiento del Tecnosol 5 en cuanto a la adsorción de fosfatos, de acuerdo a los valores medidos de fosfatos en el agua se puede notar que a medida que el tiempo aumenta la adsorción también aumenta y la retención de la misma forma, mientras que la concentración de fosfatos en el agua disminuye, en la Figura 30 se muestra la cinética de remoción del Tecnosol 5 sobre los fosfatos del agua.

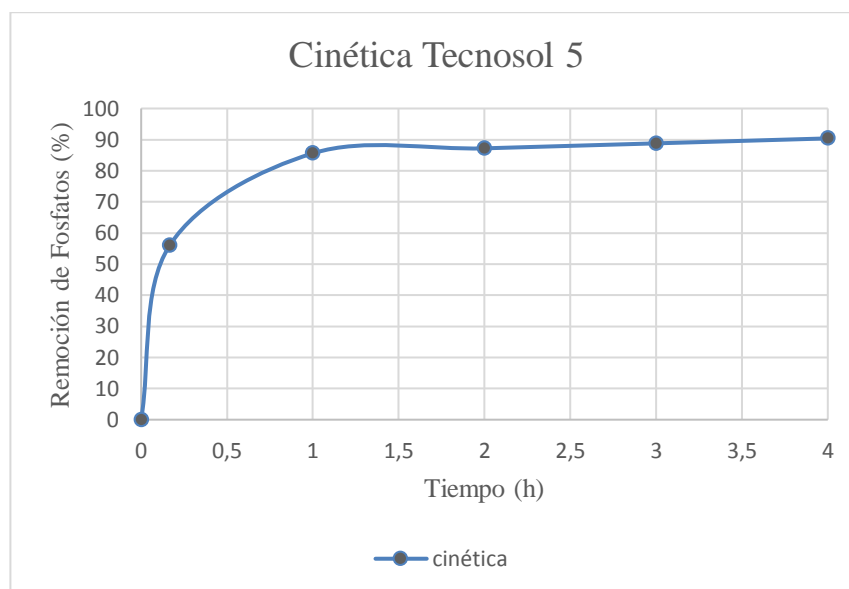


Figura 30 Cinética de remoción de $(PO_4)^{3-}$ a $1,25 \text{ mg.L}^{-1}$ con el Tecnosol 5

En la Figura 30 se expone el comportamiento de adsorción del Tecnosol 5 sobre el agua sintética con fosfatos en un rango de 0 a 4 horas mientras se realizó el experimento donde a las cuatro horas presentó una remoción de 90,4%. Se realizó el mismo procedimiento con el Tecnosoles restante. En la Tabla 34 se muestran los resultados del experimento de retención de fosfato realizado al Tecnosol 6.

Tabla 34
Resultados del experimento de retención de fosfatos del Tecnosol 6

Tiempo (horas)	Ci (mg.L ⁻¹) (PO ₄) ³⁻	Ce (mg.L ⁻¹) (PO ₄) ³⁻	C adsorbida (mg.L ⁻¹) (PO ₄) ³⁻	Retención de (PO ₄) ³⁻ (%)
0	1,25	0	0	0
0,166	1,25	0,65	0,60	48,00
1	1,25	0,30	0,95	76,00
2	1,25	0,16	1,09	87,20
3	1,25	0,16	1,09	87,20
4	1,25	0,14	1,11	88,80

En la Tabla 34 se enseña el comportamiento del Tecnosol 6 en cuanto a la adsorción de fosfatos, de acuerdo a los valores medidos de este compuesto en el agua se puede notar que a medida que el tiempo aumenta la adsorción también aumenta y la retención de la misma forma, mientras que la concentración de fosfatos en el agua disminuye, en la figura 22 se muestra la cinética de remoción del Tecnosol 6 sobre los fosfatos del agua.

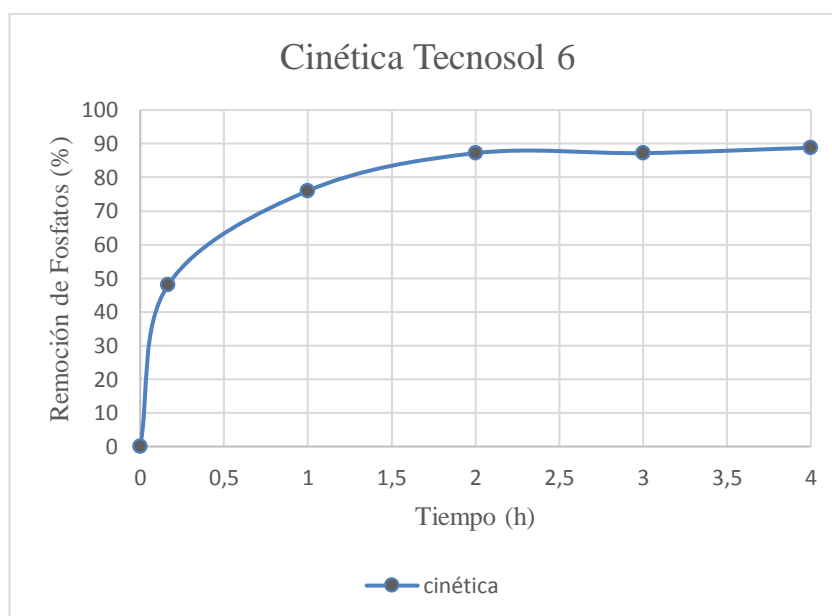


Figura 31 Cinética de remoción de (PO₄)³⁻ a 1,25 mg.L⁻¹ con el Tecnosol 6

En la Figura 31 se muestra el comportamiento de adsorción del Tecnosol 6 sobre el agua sintética con fosfatos en un rango de 0 a 4 horas mientras se realizó el experimento donde a las cuatro horas presentó una remoción de 88,8%. Se realizó el mismo procedimiento con el Tecnosoles restante. En la Tabla 35 se muestran los resultados del experimento de retención de fosfato realizado al Tecnosol 7.

Tabla 35
Resultados del experimento de retención de fosfatos del Tecnosol 7

Tiempo (horas)	Ci (mg.L ⁻¹) (PO ₄) ³⁻	Ce (mg.L ⁻¹) (PO ₄) ³⁻	C adsorbida (mg.L ⁻¹) (PO ₄) ³⁻	Retención de (PO ₄) ³⁻ (%)
0	1,25	0	0	0
0,166	1,25	0,65	0,60	48,00
1	1,25	0,30	0,95	76,00
2	1,25	0,22	1,03	82,40
3	1,25	0,17	1,08	86,40
4	1,25	0,14	1,11	88,80

En la Tabla 35 se muestra el comportamiento del Tecnosol 7 en cuanto a la adsorción de fosfatos, de acuerdo a los valores medidos de fosfatos en el agua se puede notar que a medida que el tiempo aumenta la adsorción también aumenta y la retención de la misma forma, mientras que la concentración de fosfatos en el agua disminuye, en la Figura 32 se muestra la cinética de remoción del Tecnosol 7 sobre los fosfatos del agua.

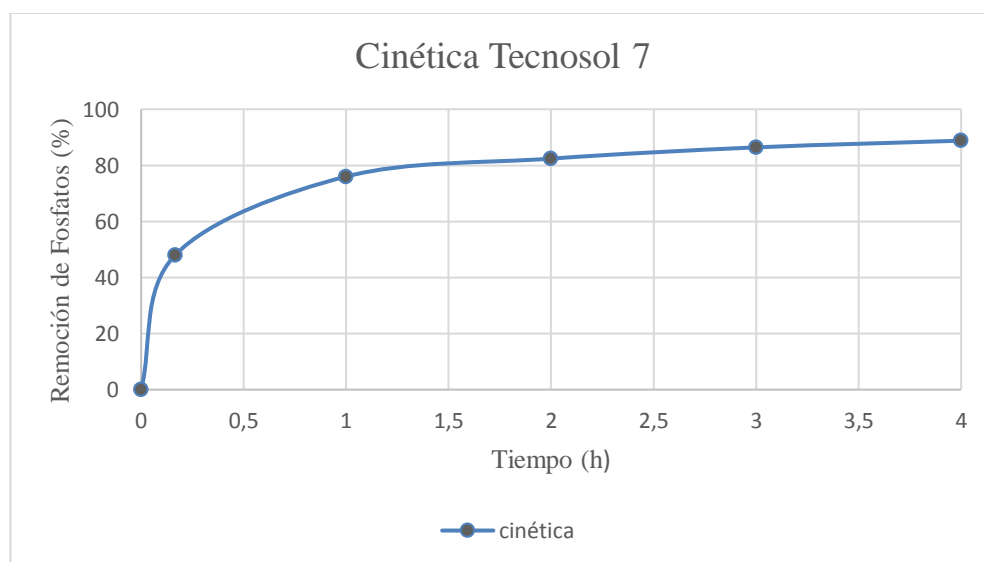


Figura 32 Cinética de remoción de (PO₄)³⁻ a 1,25 mg.L⁻¹ con el Tecnosol 7

En la Figura 32 se muestra el comportamiento de adsorción del Tecnosol 7 sobre el agua con fosfatos en un rango de 0 a 4 horas mientras se realizó el experimento donde a las cuatro horas presentó una remoción de 88,8% igual al del Tecnosol 6 se puede acotar que estos dos Tecnosoles son los que tuvieron un mayor porcentaje de sulfato de Aluminio aproximadamente cinco veces más que los tres Tecnosoles

anteriores de 5% y 10% respectivamente, por lo cual, se esperaba que sea el Tecnosol 7 el que presentaría una mejor retención, la razón de que esto no se haya cumplido puede ser que el suelo reacciona con una cantidad determinada de sulfato de Aluminio y por más que se aumente más este compuesto deja de reaccionar. El mejor resultado de remoción lo dio el Tecnosol 5 llegando a un porcentaje del 90,4% a las cuatro horas de iniciado el experimento por encima de los Tecnosoles con mayor porcentaje de sulfato de Aluminio que en un principio se esperaba que fueran los que iban a presentar una mayor retención. Así, se escogió al Tecnosol 5 como la mejor opción para el objetivo del proyecto.

4.7 Prueba de Retención de fosfatos al Tecnosol 5

A una nueva elaboración del Tecnosol 5 se le volvió a realizar el experimento de retención pero esta vez se dejó pasar 10 litros de agua sintética a 1,25 mg/l de fosfatos durante 47 horas tomando mediciones del agua cada hora, se pretendió observar el comportamiento del Tecnosol en el tiempo a diferencia de la formulación que solo fue para determinar el mayor porcentaje de retención. Por consiguiente, se pasó agua aproximadamente a un caudal constante de 210 mL.h⁻¹ y se realizaron mediciones de fosfatos cada hora para determinar el comportamiento de esta propiedad a través del tiempo. En la Tabla 36 se presentan los datos del experimento donde para cada hora la C_i es la misma, C_e corresponde a la concentración de fosfatos medida cada hora, C es la concentración adsorbida en esa hora y q es la cantidad de adsorbato que adsorbe el adsorbente.

Tabla 36
Resultados del experimento de retención de fosfatos del Tecnosol 5

Tiempo (horas)	Ce (mg.L⁻¹) (PO₄)³⁻	Retención de (PO₄)³⁻ (%)	C adsorbida (mg.L⁻¹) (PO₄)³⁻	q, mg adsorbato.(g adsorbente)⁻¹
0				0
0,0001	0,51	59,20	0,74	0,00311
0,33	0,33	73,60	0,92	0,00386
0,67	0,17	86,40	1,08	0,00454
1	0,16	87,20	1,09	0,00458
2	0,14	88,80	1,11	0,00466
3	0,12	90,40	1,13	0,00475
4	0,14	88,80	1,11	0,00466
5	0,14	88,80	1,11	0,00466
6	0,15	88,00	1,10	0,00462
7	0,19	84,80	1,06	0,00445
8	0,21	83,20	1,04	0,00437
9	0,21	83,20	1,04	0,00437
10	0,25	80,00	1,00	0,00420
11	0,23	81,60	1,02	0,00428
12	0,24	80,80	1,01	0,00424
13	0,26	79,20	0,99	0,00416
14	0,27	78,40	0,98	0,00412
15	0,27	78,40	0,98	0,00412
16	0,27	78,40	0,98	0,00412
17	0,28	77,60	0,97	0,00407
18	0,29	76,80	0,96	0,00403
19	0,28	77,60	0,97	0,00407
20	0,29	76,80	0,96	0,00403
21	0,30	76,00	0,95	0,00399
22	0,29	76,80	0,96	0,00403
23	0,31	75,20	0,94	0,00395

Tiempo (horas)	Ce (mg.L⁻¹) (PO₄)³⁻	Retención de (PO₄)³⁻ (%)	C adsorbida (mg.L⁻¹) (PO₄)³⁻	q, mg adsorbato.(g adsorbente)⁻¹
24	0,34	72,80	0,91	0,00382
25	0,33	73,60	0,92	0,00386
26	0,33	73,60	0,92	0,00386
27	0,37	70,40	0,88	0,00370
28	0,36	71,20	0,89	0,00374
29	0,39	68,80	0,86	0,00361
30	0,41	67,20	0,84	0,00353
31	0,41	67,20	0,84	0,00353
32	0,40	68,00	0,85	0,00357
33	0,42	66,40	0,83	0,00349
34	0,42	66,40	0,83	0,00349
35	0,45	64,00	0,80	0,00336
36	0,44	64,80	0,81	0,00340
37	0,47	62,40	0,78	0,00328
38	0,49	60,80	0,76	0,00319
39	0,53	57,60	0,72	0,00302
40	0,52	58,40	0,73	0,00307
41	0,53	57,60	0,72	0,00302
42	0,55	56,00	0,70	0,00294
43	0,58	53,60	0,67	0,00281
44	0,58	53,60	0,67	0,00281
45	0,60	52,00	0,65	0,00273
46	0,59	52,80	0,66	0,00277
47	0,60	52,00	0,65	0,00273

En la Tablas 36 se observan los resultados obtenidos después del experimento al Tecnosol 5 durante 47 horas, este se realizó de la misma forma que en los anteriores experimentos con agua sintética con $1,25 \text{ mg.L}^{-1}$ de $(\text{PO}_4)^{3-}$, la Tabla 40 muestra el tiempo que el Tecnosol actuó, la concentración final del agua medida cada hora, la retención del Tecnosol cada hora, la concentración de $(\text{PO}_4)^{3-}$ adsorbida y el q que representa el equilibrio de concentración del adsorbato en el adsorbente, que es igual a la cantidad de soluto adsorbido por peso unitario de adsorbente (Servos , 2014), siendo el adsorbato en este caso la concentración de fosfatos del agua y el adsorbente el Tecnosol 5, se puede apreciar como la concentración de fosfatos en el agua empieza a disminuir desde el tiempo 0,0001 hasta llegar a 0,12 $(\text{PO}_4)^{3-}$ en el tiempo 3 y empieza a aumentar paulatinamente en las siguientes horas, esto puede suceder porque el Tecnosol deja de adsorber el soluto con la misma eficiencia de las primeras horas por saturación del mismo.

Además, se puede decir que empieza un proceso de desorción entendiéndose a esta como lo opuesto a la adsorción es decir que el contaminante empieza a ser extraído del adsorbente en este caso del Tecnosol. Para que exista una retención completa y duradera de un contaminante depende de dos procesos tanto la adsorción como la desorción. Estos procesos dependen de la composición del adsorbato y el adsorbente, del tiempo y de las condiciones del medio (Rubinos González, 2008).

El tiempo de reacción y la concentración del contaminante en el sólido son muy importantes en este caso porque un cambio brusco en las condiciones del medio pueden incitar la liberación de grandes cantidades del contaminante y resultar perjudicial para el objetivo del proyecto (Rubinos González, 2008). Existe una posibilidad de que por el fenómeno de desorción que se produciría en las columnas con el contaminante llegue un punto que el agua aumente su concentración de fosfatos a más de la concentración inicial si no se cambia de Tecnosol.

El fenómeno de retención según la Tabla 36 empieza a aumentar desde el tiempo 0,0001 llegando a su mejor punto en la hora tres de 90,4 %, pasado este tiempo la retención empieza a disminuir, al igual que la q que presentó un aumento desde el tiempo 0,0001 hasta llegar a un valor de 0,0047 y después con el paso de las horas fue disminuyendo. En la Figura 33 se plantea el comportamiento del Tecnosol en cuanto a la retención de fosfatos y en la Figura 34 cómo varió la concentración de $(\text{PO}_4)^{3-}$ en el agua mientras el Tecnosol actuaba.

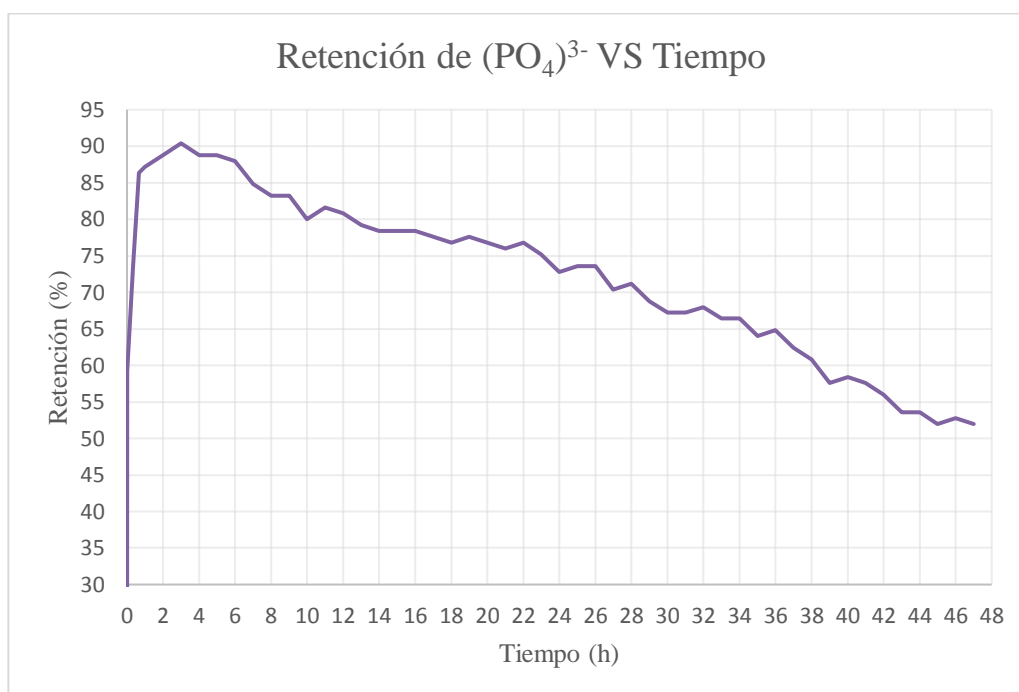


Figura 33 Comportamiento del Tecnosol 5, Retención Vs Tiempo del experimento

En la Figura 33 se muestra la variación de retención de $(\text{PO}_4)^{3-}$ que tuvo el Tecnosol 5 a través del tiempo transcurrido en el experimento, se nota claramente que llega a su punto máximo de retención en la hora tres y empieza a disminuir paulatinamente, también se observa que la retención se produce casi instantáneamente al contacto del agua sintética con el Tecnosol, según la Figura 33 la asíntota muestra que la retención disminuirá hasta que sea cero es decir que el Tecnosol deje completamente de funcionar y que la concentración del agua al pasar por el Tecnosol llegue a ser la misma la inicial que la final. En la Figura 34 se despliega la variación de la concentración de $(\text{PO}_4)^{3-}$ en el agua por acción del Tecnosol 5.

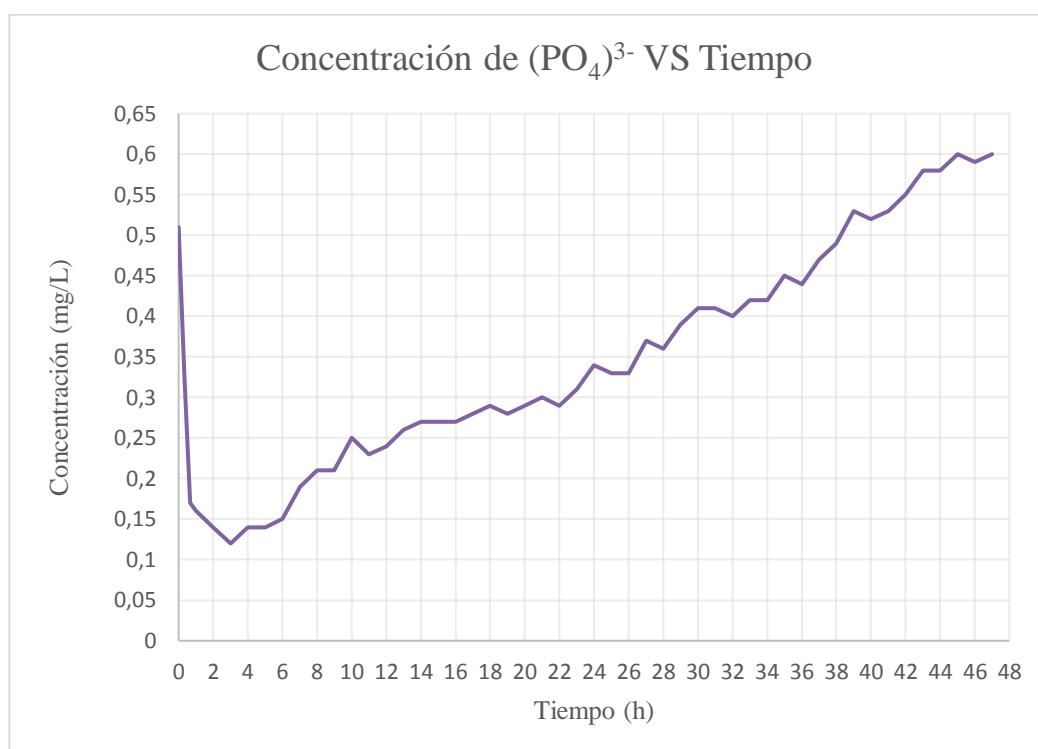


Figura 34 Variación de la concentración de $(\text{PO}_4)^{3-}$ en el agua por acción del Tecnosol 5

En la Figura 34 se puede observar que la concentración de fosfatos en el agua disminuye notablemente hasta la hora tres donde llega al pico más bajo de la figura y a partir de ahí aumenta mientras el tiempo transcurre, con lo que se puede concluir que llegado un momento la concentración de $(\text{PO}_4)^{3-}$ va a llegar al valor inicial con que empezó a pasar el agua por el Tecnosol de $1,25 \text{ mg.L}^{-1}$ de $(\text{PO}_4)^{3-}$ cuando el Tecnosol se sature completamente y que por el fenómeno de la desorción esta concentración puede aumentar (Rubinos González, 2008).

4.7.1 Cinética de Remoción del Tecnosol 5

Una vez realizado el experimento de retención se utilizaron los datos obtenidos para deducción de la cinética. La cinética puede definirse como el conjunto de aspectos que se estudian sobre la velocidad en la que un proceso químico llega a un estado de equilibrio (Harris, 1973). Hay que tomar en cuenta que se llega al equilibrio cuando el q es el q máximo es decir cuando el adsorbente no puede adsorber más adsorbato en el sistema químico (Servos, 2014).

Según la Tala 36 el Tecnosol 5 llega al equilibrio a partir de la hora tres y empieza a perder eficiencia a partir de la sexta hora, con un q de $0,0047$ (mg adsorbato).(g adsorbente)⁻¹ aproximadamente, como se observa en la Tabla 36 por más que pase el tiempo este valor no va a aumentar es decir es lo máximo que puede adsorber nuestro adsorbente. En la Tabla 37 se presentan los valores extraídos de la Tabla 36 para el cálculo de la cinética.

Tabla 37
Valores tomados en cuenta para la Cinética del Tecnosol 5

Tiempo (horas)	Ce (mg.L ⁻¹) (PO ₄) ³⁻	Retención (%)	C adsorbida (mg.L ⁻¹) (PO ₄) ³⁻	q, mg adsorbato.(g adsorbente) ⁻¹
0				0
0,0001	0,51	59,20	0,74	0,00311
0,33	0,33	73,60	0,92	0,00386
0,67	0,17	86,40	1,08	0,00454
1	0,16	87,20	1,09	0,00458
2	0,14	88,80	1,11	0,00466
3	0,12	90,40	1,13	0,00475
4	0,14	88,80	1,11	0,00466
5	0,14	88,80	1,11	0,00466
6	0,15	88,00	1,10	0,00462

En la Tabla 37 se pueden ver los valores elegidos de la Tabla 36 que fueron los valores de las seis primeras horas donde el Tecnosol llega al equilibrio estos valores se utilizaron en la realización de la cinética. Para la deducción de la ecuación de cinética del Tecnosol se toma como base la ecuación 10 que es la ecuación de primer orden porque el flujo que ingresa y que sale del reactor en este caso las columnas es constante, esta ecuación sirve para calcular concentraciones en un reactor según (Rosen, 2014)

$$\frac{dCA}{dt} = V_a \quad (10)$$

Donde:

V_a es la velocidad de reacción que está dado por $K(qe - qt)$ por lo tanto la ecuación diferencial 11 está dada por:

$$\frac{dqt}{dt} = K(qe - qt) \quad (11)$$

Que integrando entre un tiempo 0 y un tiempo t que es donde se realiza la reacción queda como la ecuación 12

$$\int_0^{qt} \frac{dqt}{qe - qt} = \int_0^t K dt \quad (12)$$

$$\ln(qe - qt) + \ln(qe) = Kt$$

$$\ln\left(\frac{qe - qt}{qe}\right) = -Kt$$

$$\frac{qe - qt}{qe} = e^{-Kt}$$

$$qe(1 - e^{-Kt}) = qt$$

$$1 - \frac{qt}{qe} = e^{-Kt}$$

$$\frac{qe - qt}{qe} = e^{-Kt}$$

Después de resolver la ecuación diferencial se consiguió la ecuación de la cinética de retención del Tecnosol 5 que está dada por la ecuación 13

$$\ln\left(\frac{qe - qt}{qe}\right) = -Kt \quad (13)$$

Donde:

qe Es el fosfato en el Tecnosol en equilibrio

qt Es el fosfato en el Tecnosol

K Constante de la cinética de adsorción

Ya con la ecuación de la cinética se procedió a sacar los datos de las primeras cuatro horas que son los valores antes de la asíntota para graficar los puntos y comprobar el ajuste de la ecuación. En la Tabla 38 se presentan los valores calculados de la ecuación y en la Figura 35 los puntos representados de la ecuación para comprobar su ajuste.

Tabla 38
Datos de las primeras cuatro horas de experimento

Tiempo (horas)	q, mg adsorbato.(g adsorbente) ⁻¹	ln((qe-qt).(qe) ⁻¹)
0	0	0
0,0001	0,003108	-1,04270
0,33	0,003864	-1,63476
0,67	0,004536	-2,90042
1	0,004578	-3,07369
2	0,004662	
3	0,004746	
4	0,004662	
5	0,004662	
6	0,00462	

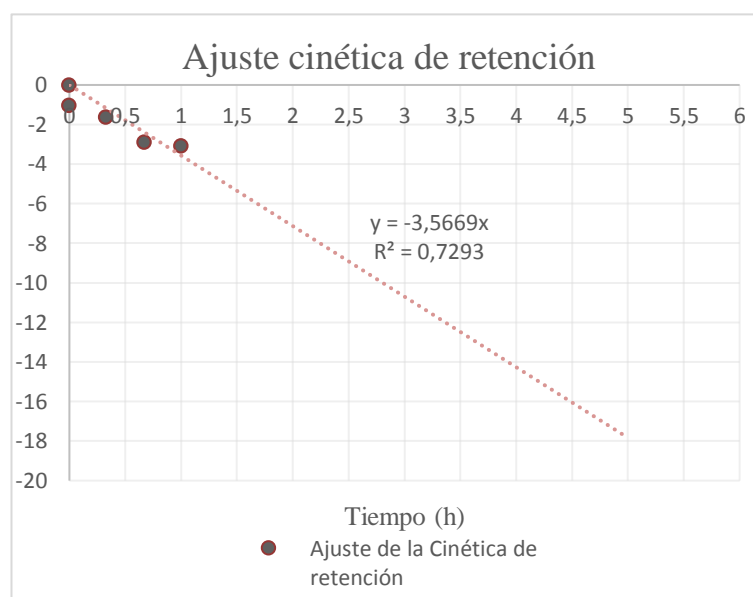


Figura 35 Ajuste de la ecuación de la cinética del Tecnosol 5

Como se puede observar en la Figura 35 la ecuación de la cinética de retención está bien deducida con un r^2 de 0,7293. Ya con la ecuación de la cinética del Tecnosol ajustada se procedió a modelar la cinética de retención con el uso del software Vensim. En la Figura 36 se muestra como quedó el modelo una vez terminado en el software.

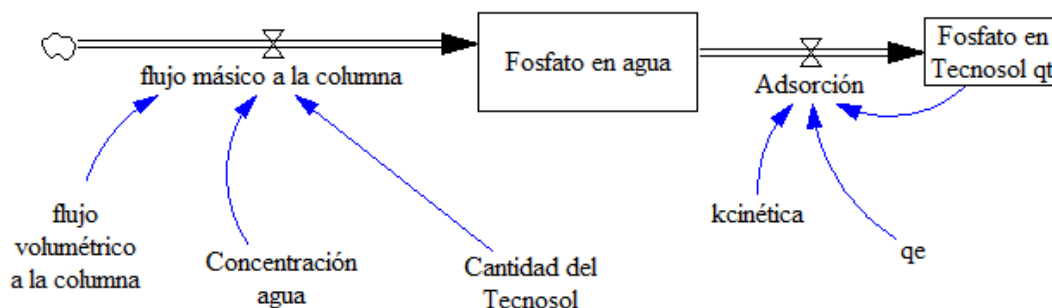


Figura 36 Modelo realizado en el software Vensim

En la Figura 36 se observa el modelo realizado en el software Vensim en el cuál se utilizaron todos los datos iniciales del experimento de retención de fosfatos explicado anteriormente se explica todas las variables y sus valores iniciales:

Flujo volumétrico a la columna es de $0,21 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$, se refiere al volumen de agua sintética que reaccionaba con el Tecnosol cada hora, la concentración de agua es la concentración inicial del $(\text{PO}_4)^{3-}$ de $1,25 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, la cantidad del Tecnosol para todos los experimentos fue de 50 g, la constante de la cinética el K y está dada por la pendiente de la recta del ajuste de la cinética con un valor de 3,56 y por último el qe es el q en equilibrio con un valor de 0,0048 que se tomó para evitar errores, todos estos valores son constante, mientras que las variables de flujo másico a la columna, fosfato en el agua, la adsorción y fosfato e el Tecnosol se calculan mediante fórmulas deducidas que son:

$$\text{Flujo másico a la columna: } \frac{\text{Concentración de fosfatos en el agua} \cdot (\text{flujo volumétrico})}{\text{cantidad de Tecnosol}}$$

$$\text{Fosfatos en el agua: } \text{Flujo másico a la columna} - \text{Adsorción}$$

$$\text{La adsorción: } K \text{ cinética } (q_e - q_t)$$

$$\text{Fosfatos en el Tecnosol (qt): es la adsorción.}$$

Se utilizó un step time de 0,25 h en el programa para que modele la cinética y se lo modelo por las primeras 8 horas para que se visualice bien la asíntota, en la Figura 37 se observa el comportamiento del fosfato en el Tecnosol.

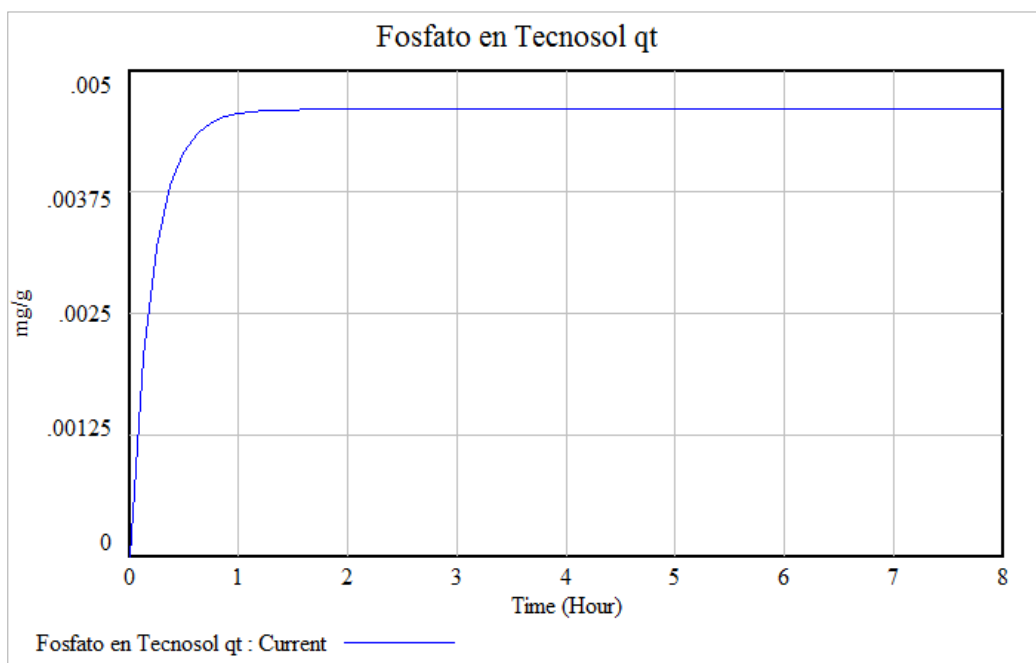


Figura 37 Modelo del comportamiento del fosfato en el Tecnosol

En la Figura 37 se observa el modelo del comportamiento de fosfato en el Tecnosol a través del tiempo, la gráfica está dada por q vs el tiempo, se observa como el q llega a su punto máximo y se mantiene constante porque la adsorción del Tecnosol 5 llega al equilibrio y por más que pase el tiempo este no aumenta, se entiende que el Tecnosol se saturó. En la Figura 38 se Observa el modelo que arroja el programa Vensim sobre la adsorción. Se aprecia el comportamiento de la adsorción a través del tiempo, así como también como el Tecnosol deja de adsorber al llegar al equilibrio.

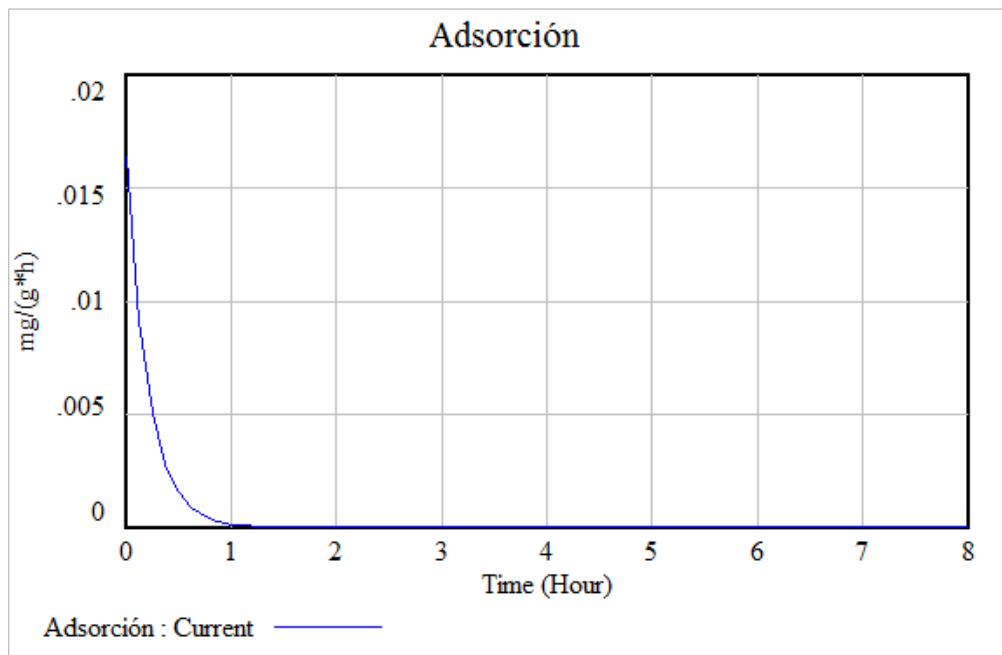


Figura 38 Modelo de la adsorción a través del tiempo

4.8 Isotermas de adsorción de Langmiur y Freundlich para el Tecnosol 5

Con el mismo Tecnosol 5 se realizó el experimento de agitación para el cálculo de las isotermas de Freundlich y Langmiur con seis concentraciones conocidas de fosfatos en el agua, la mezcla de suelo y agua estuvo en la proporción 1g de Tecnosol para 20 mL de solución en este caso la solución es el adsorbato, es decir, le agua sintética a diferentes concentraciones iniciales, la agitación de realizó durante cuatro horas porque en el experimento anterior se comprobó que la adsorción es casi inmediata. En la Tabla 39 y Figura 39 se muestran los datos del experimento para la isoterma de Langmiur.

Tabla 39
Datos para la Isoterma de Langmiur

C_i (mg.L^{-1})	C_e (mg.L^{-1})	C adsorbida (mg.L^{-1})	q , mg adsorbato.(g adsorbente) ⁻¹	$C_e \cdot q^{-1}$
0,30	0,11	0,19	0,00380	28,9474
0,50	0,14	0,36	0,00720	19,4444
1,00	0,18	0,82	0,01640	10,9756
1,50	0,2	1,30	0,02600	7,6923
2,00	0,22	1,78	0,03560	6,1798
2,50	0,25	2,25	0,04500	5,5556

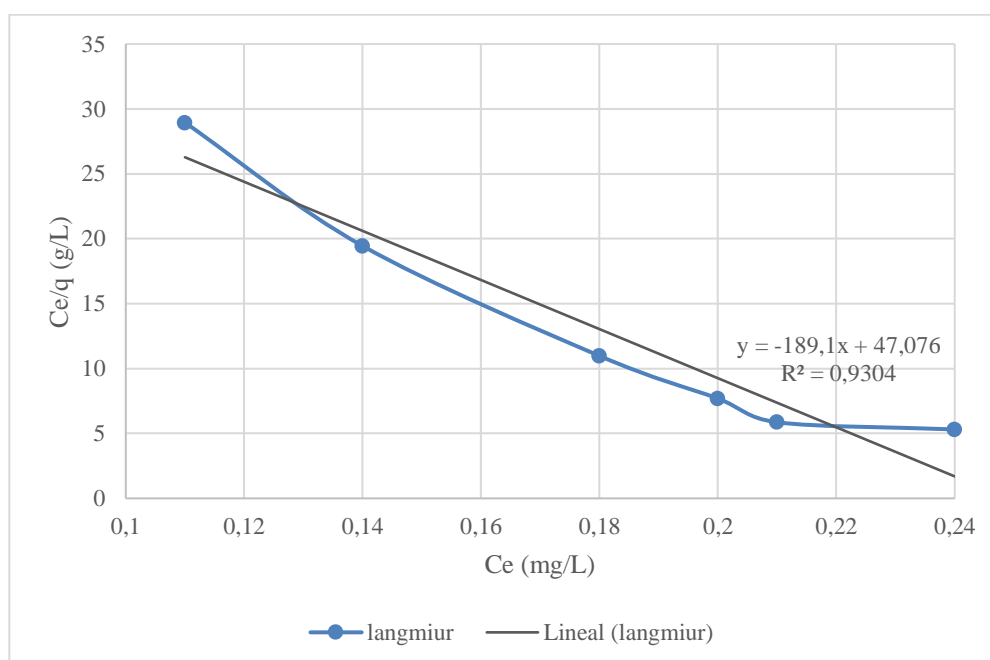


Figura 39 Isoterma de adsorción Modelo de Langmiur

En la Tabla 39 se observan los valores utilizados para la realización de la Isoterma de Langmuir con seis valores iniciales conocidos de $(\text{PO}_4)^{3-}$ en el agua, después de cuatro horas de agitación de centrifugaron las soluciones, se filtraron y de midieron las concentraciones finales de $(\text{PO}_4)^{3-}$ con la ayuda del espectrofotómetro, se calculó la q que es la cantidad de soluto adsorbido por peso unitario de adsorbente que está dada en mg.g^{-1} (Campos Medina, 2008). En la Figura 39 se presenta la Isoterma de adsorción del

modelo de Langmiur, en el eje X se toman los valores de las concentraciones finales medidas después de la agitación y en el eje Y las concentraciones finales sobre el q calculado para cada solución, la ecuación de la Isoterma es la ecuación 13. Este modelo obtuvo un R^2 de 0,9304, es decir que la ecuación está ajustada con un R ajustado al ser muy cercano a 1.

$$y = -189,1x + 47,076 \quad (13)$$

A pesar de que el modelo de Langmuir representa mejor una adsorción química se ajustó muy aceptablemente al fenómeno de adsorción del Tecnosol. El valor de $b=47,076$ representa la fuerza de adsorción que se incrementa con conforme aumenta este valor. Y Q que representa la Cantidad de soluto adsorbido que forma una monocapa por peso unitario de adsorbente.

Se realizó también el modelo de Freundlich con los mismos datos del experimento de agitación, en la Tabla 40 se muestran los datos para el cálculo de esta isoterma y en la Figura 40 la isoterma ajustada, se calculó la q para cada solución.

Tabla 40
Datos para la Isoterma de Freundlich

C_i (mg.L^{-1})	C_e (mg.L^{-1})	C adsorbida (mg.L^{-1})	q, mg adsorbato.(g adsorbente) $^{-1}$	Log (Ce)	Log (q)
0,30	0,11	0,19	0,0038	-0,9586	-2,4202
0,50	0,14	0,36	0,0072	-0,8539	-2,1427
1,00	0,18	0,82	0,0164	-0,7447	-1,7852
1,50	0,20	1,30	0,0260	-0,6990	-1,5850
2,00	0,21	1,79	0,0358	-0,6778	-1,4461
2,50	0,25	2,25	0,0450	-0,6021	-1,3468

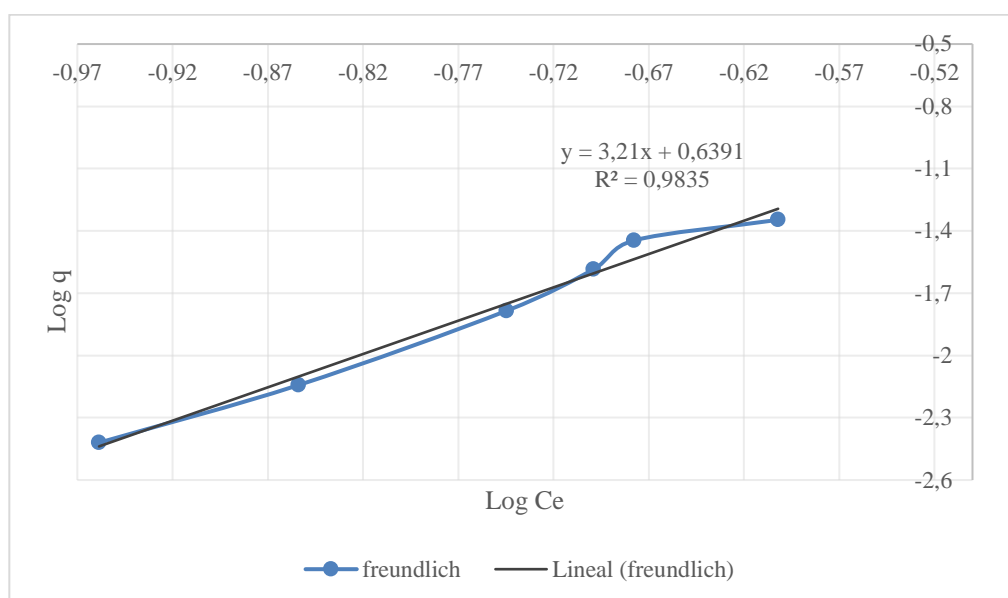


Figura 40 Isoterma de adsorción Modelo de Freundlich

En la Tabla 40 se observan los valores utilizados para la realización de la Isoterma de Freundlich con seis valores iniciales conocidos de $(\text{PO}_4)^{3-}$ en el agua, después de cuatro horas de agitación se centrifugaron las soluciones, se filtraron y se midieron las concentraciones finales de $(\text{PO}_4)^{3-}$ con la ayuda del espectrofotómetro, se calculó la q que es la cantidad de soluto adsorbido por peso unitario de adsorbente que está dada en $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ (Campos Medina, 2008). En la Figura 40 se presenta la Isoterma de adsorción del modelo de Freundlich, en el eje X se toman los logaritmos de las concentraciones finales medidas después de la agitación y en el eje el logaritmo de q calculado para cada solución, la ecuación de la Isoterma es la ecuación 14. Este modelo obtuvo un R^2 de 0,9835, es decir que la ecuación está ajustada con un R mejor que el del modelo de Langmiur.

$$y = 3,21x + 0,6391 \quad (14)$$

Donde el coeficiente de Freundlich $1.n^{-1} = 3,21$, por lo tanto el valor de n es de 0,3115, y el $\log K = 0,6391$, por lo tanto, la constante de Freundlich para este modelo fue de 4,356. El valor de K indica la fuerza de adsorción que tuvo el adsorbente hacia el adsorbato, el valor de “ $1.n^{-1}$ ” indica el valor de la pendiente de la ecuación. También hay que decir que para la realización del experimento se asumió que la temperatura a la que se realizó la adsorción fue constante así como la adsorción.

Existen dos tipos de adsorción la física o la química, en el caso de estudio se evidenció que la adsorción que realizó el Tecnosol fue física, porque no existió reacción entre las moléculas del absorbente y las del adsorbato. Para describir este tipo de adsorción es más común utilizar el modelo de Freundlich, por lo que en este trabajo coincidió con el mejor ajuste entre los dos modelos (Chen & Díaz, 2014).

Al realizar la comparación de los resultados de las Isotermas, se dedujo que el mejor ajuste a la recta fue la Isoterma de Freundlich, debido a que su factor de correlación $R^2 = 0,9835$, fue más cercano a uno que el ajuste R^2 del modelo de Langmuir que fue de 0,9304. A pesar que los dos modelos se ajustaron favorablemente, se puede decir que la Isoterma de Freundlich representó de mejor manera el fenómeno de adsorción de los fosfatos por el Tecnosol 5 en soluciones acuosas.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Los Tecnosoles elaborados con el suelo del perfil 17 a escala de laboratorio, disminuyeron la concentración de fosfatos del agua, a más del 50 % en todas las formulaciones. Por lo que, se los podría implementar a campo en los cauces del sistema hidrográfico de río Grande para disminuir las condiciones de eutrofización del agua. La mejor formulación obtenida fue la del Tecnosol 5, en la cual se usó cáscara de arroz y sulfato de Aluminio en porcentajes definidos.
- Del análisis realizado en los puntos de agua, se concluyó que son aguas en estado hipertrófico, puesto que presentaron valores comprendidos entre 0,4 a 1,75 mg.L⁻¹ de PO₄⁻³, a pesar de que los parámetros de pH, T°, Eh, CE, SO₄²⁻ y NO₃⁻ se encontraron dentro de los límites permisibles.
- Los afluentes que presentaron una alta concentración de PO₄⁻³, fueron: río Cañitas, río Platanales, estero El Aguacate y estero el Regreso, lo que puede deberse a la inundación en zonas con cobertura vegetal en la presa, lo que provoca la descomposición de la materia vegetal, aportando altas concentraciones de nutrientes en el agua. De igual manera al embalsar el agua, la velocidad del flujo de agua disminuye, limitando así la capacidad auto depuradora del río, con un alto contenido de sedimentos ricos en Fósforo y Nitrógeno.
- De acuerdo al análisis estadístico, la presencia de lluvias tiene un efecto directamente proporcional en el contenido de fosfatos encontrados en las aguas de río Grande. En época de lluvia, las precipitaciones favorecen a la erosión y lavado del suelo, identificando altas concentraciones de PO₄⁻³ en las aguas. En época de sequía los valores de PO₄⁻³ disminuyeron.

- El parámetro de pH en el suelo influye de forma directa en la retención de Fósforo, porque cuando el pH en el suelo es ácido el Aluminio está presente en altas concentraciones como parte de la solución del suelo o, como iones intercambiables. Mientras más ácido sea el pH del suelo, mayor será la actividad de los compuestos de Aluminio, que al interactuar con los fosfatos solubles presentes en el suelo hacen que estos queden fijos como compuestos complejos insolubles de Aluminio. Cuando mayor sea la cantidad de Aluminio en el suelo mayor será la retención de Fósforo que esté presente.
- Una vez realizados todos los análisis de las propiedades físicas y química de los 17 perfiles de suelo muestreados en el cantón se concluyó que, el perfil 17 fue el que mejor se ajustó a las características deseadas, en cuanto a la densidad, textura, pH, retención de Fósforo y capacidad de intercambio catiónico para la elaboración del Tecnosol que retenga fosfatos en el sistema hidrográfico de río Grande. Adicional a ello, este suelo fue muestreado en un talud a orillas de la carretera, es decir, no cumple ningún uso agrícola, por lo tanto, al recolectarlo no se está perjudicando producción, ni dañando cultivos.
- Las siete mezclas hechas con los derivados celulósicos y el sulfato de Aluminio hicieron que la retención de Fósforo del perfil 17 aumente notablemente, siendo la cáscara de arroz el derivado celulósico que mejor resultado dio en las formulaciones.
- Se utilizó el perfil 17 de suelo férrico recolectado en época de lluvia del último muestreo realizado, porque en estudios anteriormente hechos al sistema hidrográfico de río Grande se demostró que la eutrofización del agua aumentó en esta época.
- En época de lluvia, la retención de Fósforo en los perfiles de suelo férrico disminuyó, manteniéndose la tendencia de que a mayor cantidad de Aluminio mayor retención de Fósforo. El perfil 17 presentó una retención mayor en época de sequía que en la de lluvia, al igual que su cantidad de Aluminio intercambiable, esto probablemente, porque el agua al tener una carga negativa y una positiva está ejerciendo una barrera que impide la fijación electromagnética del fosfato, es por eso, que tuvo mejor comportamiento el suelo muestreado en época de sequía.

- Con la formulación del Tecnosol 5 se consiguió aumentar la retención de Fósforo del perfil 17 en un 45,43%. De esto podemos deducir que si se utiliza el suelo del perfil 17 de época de sequía para la elaboración del Tecnosol, probablemente se consiga aumentar la retención de Fósforo del suelo de 79% hasta casi un 100%.
- Una vez realizado el ensayo de retención al Tecnosol 5 se concluyó que deja de ser eficiente a partir de la hora seis de actuar sobre el agua, porque este se satura llegando al equilibrio con un valor de q máximo 0,0048, a partir de este momento el Tecnosol deja de adsorber en toda su capacidad y se lo debería cambiar para realizar una adsorción completa del contaminante.
- El modelo que mejor se ajustó para la adsorción de los fosfatos en el Tecnosol 5 fue el modelo de Freundlich con el r^2 que más de aproximó a 1. Este modelo explica una adsorción física, es decir, que no produjo ninguna reacción química entre los fosfatos y el Tecnosol.
- El Tecnosol dejó de funcionar no solamente por la saturación de fosfatos, sino también, probablemente se realizó una desorción forzada en las columnas del experimento, por consiguiente, en algún momento el agua podría tener una concentración mayor a la inicial. Es importante mencionar este fenómeno que se detectó en laboratorio en vista de que este estudio en algún momento se trasladará a los sistemas hidrográficos de río Grande que más contribuyen de fosfatos, en resumen, en la práctica podría generarse un problema en lugar de una solución por lo que es necesario estudiar más a profundidad este efecto.

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda implementar Tecnosoles a escala natural, en los principales afluentes con altas concentraciones de fosfatos en las agua para reducir las condiciones de eutrofización y su impacto, de tal manera que se limite el crecimiento acelerado de lechuguines y algas, estos afectan de manera negativa el desplazamiento de los pobladores del sector en lanchas y canoas, así como también, la calidad del recurso hídrico, imposibilitando el aprovechamiento para riego y consumo.

- Se recomienda que al producir Tecnosoles que retengan fosfatos para su aplicación en campo, se busque la forma de reaccionar el Aluminio propio del suelo, para reducir costos, quitando el rubro de la compra del sulfato de Aluminio.
- Promover la transferencia de esta tecnología desde la universidad hacia empresas públicas y privadas, para con esto, se busquen fuentes de financiamiento de este proyecto para su implementación en el sistema hidrográfico de río Grande.

BIBLIOGRAFÍA

- Alcalá de Jesús, M., Hidalgo Moreno, C., & Gutiérrez Castorena, M. (2009). Mineralogía y retención de fosfatos en Andisoles. *Terra Latinoamericana*, 27(4), 275-286.
- Arteaga Carrera, A. J., Cuéllar Marquéz, W., Ramirez Valencia, D. R., Ríos Gallego, S. Y., & Giraldo Jaramillo, S. (2010). Manejo de plantas de plantas acuáticas invasoras en embalses de EPM, caso buchón de agua (eichhornia crassipes) en el embalse Porce II, Antioquia-Colombia. *Revista EPM*(3), 22-35.
- Audesirk, T., Audesirk, G., & Byers, B. (2003). *Biología: La vida en la Tierra*. EEUU: Pearson Educación,. Obtenido de <https://books.google.com.ec/books?id=rPQrAHRxzyYC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q=yahuarcocha&f=false>
- Baeza, R., & Vázquez, J. (2014). Transición de un modelo de regresión lineal múltiple predictivo, a un modelo de regresión no lineal simple explicativo con mejor nivel de predicción: Un enfoque de dinámica de sistemas. *Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*(71), 59-71.
- Barbaro, L., Karlanian, M., & Mata, D. (2014). *Importancia del pH y la Conductividad Eléctrica en los sustratos para las plantas*. Argentina: Ministerio de AgriculturaGanadería y Pesca.
- Barzallo, L., Bayas, N., Yáñez, G., & Carrera, D. (2016). Propuesto de Tecnosol para retener nitratos en el suelo de Chone. *XXI Congreso Latinoamericano y XV Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo*, 1068-1069.
- Bautista, A., Etchevers, J., del Castillo, R., & Gutiérrez, C. (2004). La calidad del suelo y sus indicadores. *AEET, Asociación Española de ecología terrestre*, 13(2), 90-97.
- Bautista, A., Etchvers, J., Del Castillo, R., & Gutiérrez, C. (2004). La calidad del suelo y sus indicadores. *AEET, Asociación Española de Ecología Terrestre*, 13(2), 90-97.
- Blair, E. (1987). *Manual de Riego y Avenamiento*. Lima: IICA.
- Bolaños , D., Verde, R., Macías-García, F., & Macías, F. (2014). Diseño y empleo de Tecnosoles "a la carta". *XX Congreso Latinoamericano y XVI Congreso Peruano de la Ciencia del Suelo*. doi:10.13140/RG.2.1.1092.8160
- Bolaños, D. (2015). Aplicación de Tecnosoles para la recuperación de suelos y aguas afectadas por actividades de obras civiles, urbanas y minería. *Tesis doctoral*,

- 213-259. Santiago de Compostela, España: USC- Departamento de Edafología y Química Agrícola.
- Bolaños, D., Romero, N., Macías , F., Macías -García, F., Nieto, C., Pérez, C., & Verde, R. (2014). Recuperación de la mina de Touro con aplicación de Tecnosoles y Humedales Reactivos. *XX Congreso Latinoamericano XVI Congreso Peruano de la Ciencia del Suelo*. doi:10.13140/RG.2.1.2469.0727
- Bosco, J. (22 de Diciembre de 2015). *El Universo*. Obtenido de Lechuguines complican el traslado por el embalse: <http://www.eluniverso.com/noticias/2015/12/22/nota/5311572/lechuguines-complican-traslado-embalse>
- Burbano, N., Becerra, S., & Pasquel, E. (2015). *Instituto Nacional de Hidrología y meteorología*. Recuperado el 16 de Noviembre de 2016, de http://www.serviciometeorologico.gob.ec/Publicaciones/Hidrologia/HIDROGEOLOGIA_2%20EDICION_2014.pdf
- Caballero, W. (7 de julio de 2011). *ABC Color*. Obtenido de <http://www.abc.com.py/edicion-impresa/locales/recuperan--suelos-mineros-degradados-con--tecnosoles-284479.html>
- Calahorro, V. (2005). *Adsorción, discurso leído en el acto de su recepción como académico*. Granada: Academia de Ciencias Naturales, Físico-Químicas y Naturales de Granada.
- Campos Medina, E. (2008). ESTUDIO DE LA ADSORCION DE CROMO HEXAVALENTE COMO BIOMATERIAL LA ECTODERMIS DE OPUNTIA. *Quivera*, 10(1), 16-31.
- Campos, I. (2003). Calidad del Agua. En I. Campos, *Saneamiento Ambiental* (págs. 47-50). San José - Costa Rica: ASOINGRAF.
- Carrera, D. (2011). Salinidad en suelos y aguas superficiales y subterráneas de la cuenca evaporítica de Río Verde-Matehuala, San Luis Potosí. México: SAGARPA.
- Carrera, D., Crisanto, T., Guevara , P., & Maya, M. (2015). Relación entre la composición química inorgánica del agua, la precipitación y la evaporación en la cuenca de Río Grande, Chone, Ecuador. *ENFOQUE UTE*, 6(1), 25-34.
- Carrera, D., Guevara, P., & Gualichicomín, G. (2014). Caracterización físico-química desde el punto de vista agrícola de los suelos en la zona de riego del proyecto multipropósito Chone. *Congreso de Ciencia y Tecnología*, 9(1).

- Carrera, D., Guevara, P., Gualichicomín, G., & Maya, M. (2015). Calidad de las aguas de la Presa Propósito Múltiple- Chone. *Memorias de eventos científicos organizados por el INIAP*, 40-41.
- Carrera, D., Guevara, P., Maya, M., & Crisanto Tania. (2015). Variations of Species Concentration in Inorganic Water Dam "Purpoe Multiple Chone", Ecuador Based on Precipitation, Evaporation and Evapotranspiration. *Procedia Earth and Planetary Science*, 15, 641-646. doi:10.1016/j.proeps.2015.08.122
- Carriazo, J.-G., Uribe, M., & Hernández, O. (2007). Diagramas de predominancia de Frost y de Pourbaix : tres contextos para desarrollar competencias en procesos de óxido- reducción. *Scientia et Technica Año XIII*(34), 569-574.
- Castaño, Á., Aristizábal, M., & González, H. (2011). Requerimientos Hídricos del plátano dominico Hartón (Mussa AAS SIMMONDS) en la región Santágueda, Palestina Caldas. *Agronomía Universidad de Caldas*, 19(1), 57-67.
- CEPAL. (2012). *Diagnóstico de las estadísticas del agua en Ecuador*. ECUADOR: SENAGUA. Obtenido de <http://aplicaciones.senagua.gob.ec/servicios/descargas/archivos/download/Diagnostico%20de%20las%20Estadisticas%20del%20Agua%20Producto%20Iic%202012-2.pdf>
- Chen, W., & Díaz, J. (2014). *Adsorción*.
- Coaguila, D., Tangerino, F., Da Silva, Y., & Goncalves, D. (Abril de 2013). Análisis comparativo de métodos de interpolación espacial utilizando datos de evapotranspiración. *Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR*, 4080-4082.
- Cuadras, C. (2014). *NUEVOS MÉTODOS DEL ANÁLISIS MULTIVARIANTE*. España: CMC editions.
- Cuello, C. (1995). En torno a los impactos económicos, sociales, y ambientales de las presas hidroeléctricas. *Ciencia y Sociedad*, XX(3 y 4).
- Da Ross, G. (1995). *La contaminación de aguas en el Ecuador: Una aproximación económica*. I.I.E. Recuperado el 11 de Mayo de 2017, de <https://books.google.com.ec/books?id=rPQrAHRxzyYC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>
- EPA. (2017). *Agencia de Protección Ambiental de lo Estados Unidos*. Recuperado el 19 de Junio de 2017, de National Primary Drinking Water Regulations: <https://www.epa.gov/ground-water-and-drinking-water/national-primary-drinking-water-regulations#Inorganic>

- ESRI. (2017). *ArcGIS Desktop*. Recuperado el 14 de Mayo de 2017, de Vista general del conjunto de herramientas Interpolación ráster: <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/tool-reference/3d-analyst/an-overview-of-the-interpolation-tools.htm>
- FAO. (1992). *Prevención de la contaminación del agua por la agricultura y actividades afines*. Santiago de Chile: Oficina regional de la FAO para América Latina y el Caribe.
- FAO. (2017). *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. Recuperado el 07 de Mayo de 2017, de Los fertilizantes en cuanto contaminantes del agua: <http://www.fao.org/docrep/w2598s/w2598s05.htm>
- Fernández, L. (2008). PH: Acidez y alcalinidad. En L. Fernandez, *Manual para la Formación en medio Ambiente* (págs. 208-209). Valladolid-España: LEX Nova.
- Foo, k., & Hameed, B. (2010). Insights into the modeling of adsorption isotherm systems. *Chemical Engineering Journal*, 2–10. doi:10.1016/j.cej.2009.09.013
- Freund, J., & Miller Irwin. (2000). *Estadística matemática con aplicaciones*. México: PEARSON EDUCACIÓN.
- Glynn, J., & Heinke, G. (1999). *Ingeniería Ambiental* (Segunda Edición ed.). México: PRENTICE HALL. Obtenido de <https://books.google.com.ec/books?id=ToQmAKnPpZIC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>
- Gobierno Autonomo Descentralizado del cantón Chone . (2014). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento territorial del Cantón Chone 2014-2019*. Recuperado el 4 de Enero de 2017, de <http://www.chone.gob.ec/pdf/lotaip2/documentos/pdot.pdf>
- González, M., & Saldarriaga, J. (2008). Remoción biológica de materia orgánica, nitrógeno y fósforo en un sistema tipo anaerobio-anóxico-aerobio. *Revista EIA*, 45-53.
- Gueu, S., Yao , B., Adouby, K., & Ado, G. (2007). Kinetics and thermodynamics study of lead adsorption on to activated carbons from coconut and seed hull of the palm tree. *Int. J. Environ. Sci. Tech*, 11-17.
- Guevara Granja, M. F., & Ramírez Cando, L. J. (2015). Eichhornia crassipes, su invasividad y potencial fitorremediador. *La Granja*, 22(2), 5-11.
- HACH . (2000). *Manual de análisis de agua: procedimientos fotométricos, de titulación y microbiológicos*. Colorado - EEUU: HACH Company.

- Harris, G. (1973). *Cinética Química*. Barcelona: REVERTÉ.
- Hernández, S. (2002). Interferencia de los embalses, y su regimen de explotación, con algunos procesos y especies relacionadas con la fauna. *CONGRESO INTERNACIONAL DE CONSERVACIÓN Y REHABILITACIÓN DE PRESAS*, 1-8.
- Ibáñez, J., & Manríquez, F. (6 de Octubre de 2015). *MADRID, Un universo invisible bajo nuestros pies*. Obtenido de Tecnosoles, Tecnosuelos y Suelos Urbanos (WRB, 2006/2007): <http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2015/10/06/145529>
- Ibáñez, R., & Mario, C. (2002). Valorización de Residuos Sólidos Urbanos. FCE.
- INAMHI. (2016). *Boletín de precipitación y temperatura - Zona 4*. Ecuador: MAGAP-CGSIN.
- Jarvie, H., Sharpley, A., Whithers, P., Scott, J., Haggard, B., & Neal, C. (2013). Phosphorus Mitigation to Control River Eutrophication: Murky Waters, Inconvenient Truths, and “Postnormal” Science. *Journal of Environmental Quality NCBI*, 295-300.
- Jarvie, H., Sharpley, A., Whithers, P., Scott, J., Haggard, B., & Neal, C. (2013). Phosphorus Mitigation to Control River Eutrophication: Murky Waters, Inconvenient Truths, and “Postnormal” Science. *Journal of Environmental Quality NCBI*, 42(2), 295-300. doi:10.2134/jeq2012.0085
- Jiménez, M., & Padilla, G. (2012). EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE ADSORCIÓN DEL ASERRÍN PARA REMOVER ACEITES PESADOS EN CUERPOS DE AGUA A ESCALA LABORATORIO. Cartagena, Colombia. Recuperado el 07 de Mayo de 2017, de <http://190.242.62.234:8080/jspui/bitstream/11227/84/1/Evaluacion%20del%20potencial.pdf>
- Jiménez, B. (2001). *La contaminación ambiental en México*. México: Colegio de Ingenieros Ambientales de México, A. C.
- Ledesma, C., Bonansea, M., Rodriguez, C., & Sanchez, A. (2013). Determinación de indicadores de eutrofización en el embalse Río Tercero, Córdoba (Argentina). *Revista Ciência Agronômica*, v. 44, 419-425.
- Levin, R., & Rubin, D. (2004). *Estadística para la administración y economía*. México: PEARSON EDUCACION.

- Luna, V., & Ramírez, H. (2004). Medios de soporte alternativos para la remoción de fósforo en humedales artificiales. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 20(1), 31-38.
- Macías , F., Macías-García, F., & Camps Arbestian, M. (2007). Valorización biogeoquímica de residuos por medio de la elaboración de Tecnosoles con diferentes aplicaciones ambientales. *Agua y Residuos*, 5, 12-25.
- Macías, F. (2004). Recuperación de suelos degradados, reutilización de residuos y secuestro de carbono. Una alternativa integral de mejora en la calidad ambiental. *Recursos Rurais*, 1, 49-56.
- Macías, F. (17 de Julio de 2011). Recuperan los suelos mineros degradados con "Tecnosoles". (W. Caballero, Entrevistador) Recuperado el 12 de Mayo de 2017, de <http://www.abc.com.py/edicion-impresalocales/recuperan--suelos-mineros-degradados-con--tecnosoles-284479.html>
- Macías, F. (2015). Retos y oportunidades de la ciencia del suelo: aprendiendo de los suelos, aprendiendo de la naturaleza. *SJSS, Spanish journal of Soil Science*, 5, 1-11. doi:10.3232/SJSS.2015.V5.N1.01
- Macías, F., & Camps Arbestian, M. (2009). *Alternativas para el secuestro de carbono en suelos y biomasa: aprendiendo de la naturaleza, aprendiendo del suelo*. (Vol. 2). Sevilla: Real Academia Sevillana de Ciencias.
- Macías, F., & Nieto, C. (2012). Didáctica de la mina de Touro: Procesos de recuperación de suelos y aguas hiperácidas de minas de sulfuros metálicos mediante la valorización biogeoquímica de residuos. *Comunicaciones del XVII Simposio sobre Enseñanza de la Geología*, 1-7. doi:10.13140/RG.2.1.2469.0727
- MAE. (2015). *Reforma del libro VI del texto unificado de legislación secundaria*. Quito-Ecuador: Cep.
- MAE. (2015). *valoración económica del aporte de Sistema Nacional de Areas Protegidas a la Nueva Matriz Energética del Ecuador: Sector Hidroeléctrico*. Quito - Ecuador: Manthra Comunicación Integral y producción editorial. Recuperado el 25 de Julio de 2017
- Mariraj, M. (2012). Comparative Study of Rice Straw and Ragi Straw for the Inhibition of Algal Bloom in Fresh Water. *International Research Journal of Biological Sciences*, 1 (6), 31-37. Obtenido de <http://www.isca.in/IJBS/Archive/v1/i6/6.ISCA-JBS-2012-125.pdf>
- Mayorga , E., & Carrera, D. (2015). Diseño de reactores biológicos para tratamiento de aguas de canales de riego. *Revista Digital Congreso de Ciencia y*

Tecnología, 10, 30-36. Obtenido de http://ciencia.espe.edu.ec/wp-content/uploads/2014/04/REVISTA_CYTESPE2015-V2.pdf

Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos. (2016). *Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos*. Recuperado el Julio de 2016, de <http://www.sectoresestrategicos.gob.ec/proyecto-proposito-multiple-chone-cumple-el-objetivo-regular-las-aguas-del-rio-grande/>

Ministerio de Agricultura y Gandería. (2017). *Ministerio de Agricultura y Gandería*. Obtenido de Manabí: cosecha de semilla de arroz supera las 4,5 toneladas por hectárea: <http://www.agricultura.gob.ec/manabi-cosecha-de-semilla-de-arroz-supera-las-45-toneladas-por-hectarea/>

Ministerio de Coordinación de la Producción, Empleo y Competitividad. (12 de Julio de 2011). *Ministerio de Coordinación de la Producción, Empleo y Competitividad*. Recuperado el Septiembre de 2016, de <http://www.produccion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/02/AGENDA-TERRITORIAL-MANABI.pdf>

Ministerio de Energía y Minas-Ecuador; Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte;. (2011). *Mapa Geológico de la república del Ecuador*. Quito-Ecuador: Niall Spencer.

Ministerio del Ambiente. (2015). *Reforma del libro VI del texto del texto unificado de legislación del Ecuador*. Quito: Gobierno del Ecuador.

Mironga, J., Mathooko, J., & Onywere, S. (2011). The Effect of Water Hyacinth (*Eichhornia Crassipes*) Infestation on Phytoplankton Productivity in Lake Naivasha and the Status of Control. *Journal of Environmental Science and Engineering*(5), 1252-1260.

Moreno, D., Manzano, J., & López, A. (2010). Métodos para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofia. *Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa*, 25-28.

Olías, M., Cerón, J., & Fernández, I. (2005). Sobre la utilización de la clasificación de las aguas de riego del U.S. Laboratory Salinity (USLS). *GEOGACETA*, 37, 111-113.

ONU. (22 de Octubre de 2014). *Departamento de asuntos económicos y sociales de las Naciones Unidas*. Obtenido de Decenio Internacional para la acción "El agua fuente de vida"2005 - 2015: <http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/quality.shtml>

- ONU. (2015). *El suelo es un recurso no renovable, su conservación es esencial para la seguridad alimentaria y nuestro futuro sostenible*. Roma: FAO, fiat panis.
- Organización Mundial de la Salud . (27 de junio de 2006). *Guías para la calidad del agua potable [recurso electrónico]: incluye el primer apéndice. Vol. 1:*. Obtenido de http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowres.pdf
- Orozco, C. (2011). Criterios de la calidad del agua. En C. Orozco, & A. Pérez, *Contaminación Ambiental* (págs. 281-285). Madrid- España: Paraninfo S.A.
- Palma, N. (16 de Mayo de 2011). *El Universo*. Obtenido de Lechuguines se sacaran a mano en represa manabita: <http://www.eluniverso.com/2011/05/16/1/1447/lechuguines-sacaran-mano-represa-manabita.html>
- Pedroza, H., & Dicovskyi, L. (2006). *Sistema de Análisis estadístico con SPSS*. Managua - Nicaragua: INTA.
- Peña, J. (2000). *Sistemas de Información geográfica aplicados a la gestión del territorio*. San Vicente (Alicante): Editorial Club Universitario.
- Pérez, A., Botella , A., Muñoz , A., Olivella, R., Olmedillas, J., & Rodríguez , J. (2011). *Introducción a los Sistemas de Información Geográfica y Geotelemática* (Primera Edición ed.). Editorial UOC.
- Pérez, R., Caso, C., Río , M., & López, A. (2012). *Introducción a la Estadística Económica*. España: Universidad de Oviedo.
- Pineda, J., Sánchez, F., Ramírez, A., Castillo, A., Valdés, L., & Moreno, E. (2012). Aserrín de pino como sustrato hidropónico. I: Variación en características físicas durante cinco ciclos de cultivo. *Rev. Chapingo Serie Horticultura*, 18(1).
- PQ Corporation. (2017). *PQ Corporation*. Recuperado el 28 de junio de 2017, de Responsible Care: <http://www.pqcorp.com/espc/es-mx/LATAM-Espa%C3%B1ol/Productos/Sulfato-de-Aluminio>
- Prado , A., Moura , A., Andrade, R., Pescara , I., Ferreira, V., Faria, E., . . . Zara, L. (2012). Application of Brazilian sawdust samples for chromium removal from tannery wastewater. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 40-45. doi:10.1007/s10973-009-0284-0
- QGIS. (2017). *Documentación QGIS 2.0*. Recuperado el 14 de Mayo de 2017, de Análsis Espacial (Interpolación):

https://docs.qgis.org/2.8/es/docs/gentle_gis_introduction/spatial_analysis_interpolation.html

- Ramírez, J. (2015). Comportamiento diario y estacional de las estructuras óptica y térmica en un embalse tropical colombiano. *Revista de la academia colombiana de ciencias exactas, físicas y naturales*, 39(150), 77-90.
- Rivas, C., Núñez, O., Longoria, F., & González, L. (2014). Isotermas de Langmuir y Freundlich como modelos para la adsorción de componentes de ácido nucleico sobre WO₃. *Saber, Universidad de Oriente Venezuela*, 26, 43-49.
- Rodríguez, J., & Marín, R. (1999). *Físico Química de Aguas*. Madrid - España: Ediciones Díaz de Santos S.A.
- Romero, H. (2014). Ecología política y represas: elementos para el análisis del Proyecto HidroAysén en la Patagonia chilena. *Revista de geografía Norte Grande*(57), 8-15. doi:10.4067
- Romero, M., Colín, A., Sánchez, E., & Ortíz, M. L. (2009). Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: Evaluación de la remoción de la carga orgánica. *Revista Internacional de la contaminación ambiental*, 25(3), 1-10.
- Romero, P. (1972). *Influencia de la Impermeabilización parcial del suelo sobre la aireación y la movilidad de nutrientes*. Costa Rica: Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA.
- Rosen, A. (11 de Mayo de 2014). Obtenido de Recator Desing: http://sites.tufts.edu/andrewrosen/files/2013/09/reactor_design_guide1.pdf
- Rossiter, D. (2014). *Tutorial: Using the R Environment for Statistical Computing An example with the Mercer & Hall wheat yield dataset*. EEUU: University of Twente, Faculty of Geo-Information Science & Earth.
- Rubinos González, D. (2008). *Utilización de lodos rojos de bauxita en la contención e inactivación de residuos tóxicos y peligrosos*. Santiago de Compostela: Universidade de Santiago de Compostela. Servicio de Publicacións e Intercambio Científico.
- Sánchez, O., Herzig, M., Peters, E., & Márquez, R. (2000). *Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México*. Estados Unidos: SMARN.
- Sanguino Sote, E. (1961). Influencia del ph sobre la fijación de fósforo y su relación con la respuesta del maíz a la fertilización fosfatada. *Revista de la universidad nacional de Colombia*, 11(3-4).

- Sanzano, A. (Abril de 2017). *Facultad de Agronomía y Zootecnia UNT*. Recuperado el 1 de Febrero de 2017, de <http://www.edafologia.com.ar/Descargas/Cartillas/Fosforo%20del%20Suelo.pdf>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2002). NOM-021-SEMARNAT-2000. *norma*. México.
- SENAGUA. (2011). *Capítulo 5: Línea Base Ambiental*. Manabí: SENAGUA.
- SENAGUA. (2011). *capítulo 6: Identificación y evaluación de impactos ambientales*. Chone - Manabí: SENAGUA.
- SENAGUA. (2011). *Descripción del proyecto Porpósoto Múltiple Chone*. Manabí - Ecuador : SENAGUA.
- SENAGUA. (2017). *Empresa Pública del Agua EPA-EP*. Recuperado el 03 de Julio de 2017, de El Sistema Propósito Múltiple Chone fue inaugurado: <http://www.empresaagua.gob.ec/gobierno-nacional-pone-fin-a-las-inundaciones-en-chone/>
- SENAGUA. (2017). *Secretaría del Agua*. Obtenido de SENAGUA trabaja en recolección de lechuguines en represa Chongón: <http://www.agua.gob.ec/guayas-senagua-trabaja-en-recoleccion-de-lechuguines-en-represa-chongon/>
- Serrano, R. (2003). *Introducción al análisis de datos experimentales: Tratamiento de datos en bioensayos*. Castello de la Plana: Publicaciones de la Universidad Jaume, I D.L.
- Servos , M. (2014). *Nanotechnology for water treatment and purification*. Londres: Springer.
- Severiche, C., & Gónzales , H. (2012). Evaluación analítica para la determinación de sulfatos en aguas por método turbidimétrico modificado. *Dialnet* , 3(2), 6-11.
- Shahabuddin, A., Oo, M., Yi, Y., Thankur, D., Bart, A., & Diana, J. (2012). Study about the Effect of Rice Straw Mat on Water Quality Parameters, Plankton Production and Mitigation of Clay Turbidity in Earthen Fish Ponds. *World Journal of Fish and Marine Sciences*, 6, 577-585. doi:10.5829/idosi.wjfms.2012.04.06.6515
- Sierra, R. (Noviembre de 2010). *Eutrofización de embalses: descripción, prevención y manejo*, 26-35. Santander: Universidad Industrial de Santander. Recuperado el 11 de Mayo de 2017, de <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/7494/2/136071.pdf>

- Soares, I. R., Yabroudi, S. C., & Morita, D. M. (2011). Remoción de Fósforo de fluentes de lagunas de estabilización empleando lodo de estaciones de tratamiento de agua. *Interciencia, Caracas*, 774-778.
- Thompson, L., & Troeh, F. (1998). *Los suelos y su fertilidad* (Cuarta edición ed.). España: REVERTÈ S.A.
- Tubert, I., & Talanquer, V. (1997). Sobre adsorción. *PARA SABER, EXPERIMENTAR Y SIMULAR*.
- Undurraga, P. (2013). Conceptos de fertilidad Fosfatada en suelos volcánicos. *Instituto de Investigaciones Agropecuarias- Centro Regional de Investigaciones Remehue* (págs. 1-3). Perú: INIA.
- UNESCO, & Ile-de-France, A. (2016). *Agua, megalópolis y cambio climático: retrato de 15 ciudades emblemáticas del mundo*. Paris: UNESCO Publishing.
- USC; Xunta de Galicia; FEUGA; Unión Europea, Fonde de desarrollo Nacional; Instituto Politécnico de Viana do Castelo;. (2010). *Tecnosoles, Elaboración de suelos a la carta para soluciones ambientales*. Obtenido de Proyecto VT: http://www.vtransfer.org/sites/default/files/cartera/pdf/feumed8_tecnosoles.pdf
- Valdez, J. (2003). Uso multiple de los recursos hídricos del embalse de la represa hidroeléctrica de Tucuruí. *COMITÉ BRASILEIRO DE BARRAGENS, XXV SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS*, 1-19.
- van de Fliert, E., & Braun, A. (2001). *Escuela de campo de agricultores para el manejo integrado del cultivo de Camote*. Tryanto PA - Lindsay Wall: Indonesia.
- 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.
- WRB. (2007). *World Reference Base for Soil Resources 2006*. Rome: World Soil Resources Reports No. 103. FAO.
- Yara. (20 de julio de 2017). *YARA Knowledge grows*. Obtenido de El efecto del fósforo en el rendimiento de praderas: <http://www.yara.com.co/crop-nutrition/crops/praderas/rendimiento/fosforo/>
- Zavaleta, J. (2010). *UNAM*. Recuperado el 18 de Mayo de 2017, de Kriging: un método de interpolación sobre datos dispersos: <http://lya.fciencias.unam.mx/computocientifico/archivos/PMK-S1.pdf>

ANEXOS