

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE PESQUERIA



“EFECTO DE ZEOLITA CLINOPTILOLITA EN LA CALIDAD DEL AGUA
CON FINES DE USO EN ACUICULTURA ORNAMENTAL”

Presentado por:

GUSTAVO EMILIO ARGUMANIS SANCHO-DÁVILA

TESIS PARA OPTAR POR EL TITULO DE
INGENIERO PESQUERO

Lima - Perú

2021

La UNALM es titular de los derechos patrimoniales de la presente
investigación (Art. 24 – Reglamento de Propiedad Intelectual)

Document Information

Analyzed document	06_022_T_Gustavo Argumanis.pdf (D142746828)
Submitted	8/8/2022 7:28:00 PM
Submitted by	Elsa Vega Galarza
Submitter email	evegalarza@lamolina.edu.pe
Similarity	0%
Analysis address	evegalarza.unalm@analysis.urkund.com

Sources included in the report

Entire Document

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA FACULTAD DE PESQUERIA "EFECTO DE ZEOLITA CLINOPTILOLITA EN LA CALIDAD DEL AGUA CON FINES DE USO EN ACUICULTURA ORNAMENTAL" Presentado por: GUSTAVO EMILIO ARGUMANIS SANCHO-DAVILA TESIS PARA OPTAR POR EL TITULO DE INGENIERO PESQUERO Lima - Perú 2021
 UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA FACULTAD DE PESQUERIA "EFECTO DE ZEOLITA CLINOPTILOLITA EN LA CALIDAD DEL AGUA CON FINES DE USO EN ACUICULTURA ORNAMENTAL" Presentado por: GUSTAVO EMILIO ARGUMANIS SANCHO-DAVILA TESIS PARA OPTAR POR EL TITULO DE INGENIERO PESQUERO Sustentado y aprobado por el siguiente jurado: M.Eng. María Cristina Miglio Toledo Presidente M.Sc. Beatriz Elena Angeles Escobar Dra. Rosemary Vela Cardich Miembro Miembro M. Sc. Elsa Vega Galarza Asesora Lima 2022

AGRADECIMIENTO A mis familia, por haberme apoyado durante todo este proceso. A mi profesora asesora y profesores de jurado, por su apoyo constante a lo largo de la elaboración de este trabajo de tesis Al personal del laboratorio que me apoyó constantemente Y todos mis amigos y compañeros que me dieron ánimo durante todo el proceso

INDICE GENERAL I. INTRODUCCION.....	17	II. REVISION DE	
LITERATURA.....	19	2.1 Zeolitas.....	19
química.....	19	2.1.1. Composición	
Tipos de zeolita.....	21	2.1.2. Estructura geométrica.....	20
Algunos usos de las zeolitas.....	25	2.1.3.	
acuicultura.....	26	2.1.4. Propiedades de la zeolita.....	24
clinoptilolita.....	28	2.1.5.	
.....	29	2.1.6. Usos de la zeolita en la	
cultivo.....	33	2.1.7. Modificación y regeneración de la zeolita.....	26
Parámetros de la calidad de agua de importancia para el mantenimiento de peces ornamentales amazónicos.....	34	2.2. Zeolita	
amoniaca.....	35	2.3 Antecedentes de uso de zeolitas en industria y acuicultura	
.....	36	2.3.1. Eficiencia del uso de la zeolita en la remoción de compuestos tóxicos en el agua de	
.....	36	2.3.2. Comercialización de las zeolitas en Perú.....	34
.....	36	2.4	
.....	36	2.5 Evaluación de mecanismos de eliminación de nitrógeno	
.....	36	2.6 Situación de las especies ornamentales en el Perú	
.....	36	2.7 Especies ornamentales amazónicas representativas del Perú.....	37

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE PESQUERIA

**“EFECTO DE ZEOLITA CLINOPTILOLITA EN LA CALIDAD DEL
AGUA CON FINES DE USO EN ACUICULTURA ORNAMENTAL”**

Presentado por:

GUSTAVO EMILIO ARGUMANIS SANCHO-DÁVILA

**TESIS PARA OPTAR POR EL TITULO DE
INGENIERO PESQUERO**

Sustentado y aprobado por el siguiente jurado:

M.Eng. María Cristina Miglio Toledo
Presidente

M.Sc. Beatriz Elena Angeles Escobar
Miembro

Dra. Rosemary Vela Cardich
Miembro

M. Sc. Elsa Vega Galarza
Asesora

Lima 2022

AGRADECIMIENTO

A mis familia, por haberme apoyado durante todo este proceso.

A mi profesora asesora y profesores de jurado, por su apoyo constante a lo largo de la elaboración de este trabajo de tesis

Al personal del laboratorio que me apoyó constantemente

Y todos mis amigos y compañeros que me dieron ánimo durante todo el proceso

INDICE GENERAL

I.	INTRODUCCION.....	17
II.	REVISION DE LITERATURA.....	19
2.1	Zeolitas.....	19
2.1.1.	Composición química.....	19
2.1.2.	Estructura geométrica.....	20
2.1.3.	Tipos de zeolita.....	21
2.1.4.	Propiedades de la zeolita.....	24
2.1.5.	Algunos usos de las zeolitas.....	25
2.1.6.	Usos de la zeolita en la acuicultura.....	26
2.1.7.	Modificación y regeneración de la zeolita.....	26
2.2.	Zeolita clinoptilolita.....	28
2.3	Antecedentes de uso de zeolitas en industria y acuicultura	29
2.3.1.	Eficiencia del uso de la zeolita en la remoción de compuestos tóxicos en el agua de cultivo.....	33
2.3.2.	Comercialización de las zeolitas en Perú.....	34
2.4	Parámetros de la calidad de agua de importancia para el mantenimiento de peces ornamentales amazónicos.....	34
2.5	Evaluación de mecanismos de eliminación de nitrógeno amoniacal.....	35
2.6	Situación de las especies ornamentales en el Perú	36
2.7	Especies ornamentales amazónicas representativas del Perú.....	37

III. MATERIALES Y METODOS.....	38
3.1. Lugar y tiempo de ejecución.....	38
3.2. Primera etapa experimental.....	40
3.2.1. Actividades previas al experimento.....	40
a. Acondicionamiento de las unidades experimentales.....	40
b. Preparación del agua para las unidades experimentales.....	40
c. Determinación de la cantidad de cloruro de amonio requerida para la primera etapa del experimento.....	41
d. Granulometría y acondicionamiento de la zeolita.....	42
e. Preparación de filtros con sustrato de zeolita.....	45
3.2.2. Ejecución de la primera etapa experimental.....	46
a. Inoculación del cloruro de amonio.....	46
b. Medición de parámetros.....	46
c. Reposición de agua.....	47
3.2.3. Diseño experimental.....	48
3.2.4. Análisis de resultados.....	48
3.2.5. Análisis estadístico.....	49
3.3. Segunda etapa experimental	50
3.3.1. Actividades previas al experimento.....	52
a. Adquisición de peces ornamentales.....	52
b. Recepción y acondicionamiento de los peces ornamentales....	52
c. Biometría inicial y final de los peces.....	52
d. Acondicionamiento de las unidades experimentales.....	53
3.3.2. Determinación de la supervivencia de peces.....	53
3.3.3. Alimentación de los peces.....	53

3.3.4. Diseño experimental.....	54
3.3.5. Determinación de la eficacia de remoción del nitrógeno amoniacal total.....	55
3.3.6. Análisis estadístico.....	55
IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	56
4.1. Primera etapa experimental.....	56
4.1.1. Concentración de nitrógeno amoniacal total y sus formas disociadas.....	56
4.1.2. Evaluación estadística de la concentración de nitrógeno amoniacal total y sus formas disociadas.....	59
4.1.3. Comparación de remoción de nitrógeno amoniacal total entre tratamientos.....	61
4.1.4. Comparación de temperatura, pH, conductividad eléctrica e iones Na ⁺ entre los tratamientos.....	65
4.2. Segunda etapa experimental.....	70
4.2.1. Concentración de N amoniacal total y sus formas disociadas.....	70
a. Nitrógeno amoniacal total, N-amoniaco y N-amonio.....	70
b. Remoción de nitrógeno amoniacal total del medio.....	74
4.2.2. Prueba de comparación de medias entre tratamientos.....	78
4.2.3. Promedio de los parámetros de calidad de agua.....	79
4.2.4. Determinación de temperatura, pH, conductividad eléctrica e iones Na ⁺	80
4.2.5. Oxígeno disuelto en el agua	85
4.2.6. Nitratos.....	86
4.2.7. Crecimiento y supervivencia de peces	87

V. CONCLUSIONES.....	89
VI. RECOMENDACIONES.....	90
VII. BIBLIOGRAFIA.....	91
VIII. ANEXOS.....	103

INDICE DE TABLAS

TABLA 1: Tipos de zeolita y sus características.....	22
TABLA 2: Experiencias de uso de zeolitas en alimentación de especies acuícolas.....	30
TABLA 3: Mantenimiento de la calidad de agua en acuicultura.....	31
TABLA 4: Requerimientos ambientales de las especies ornamentales elegidas.....	37
TABLA 5: Parámetros de pH y conductividad eléctrica del agua potable y desionizada utilizadas.....	41
TABLA 6: Características de la zeolita marca Agriconat utilizada en la experimentación	42
TABLA 7: Composición granulométrica de la zeolita utilizada en la experimentación.....	42
TABLA 8: Valores promedio y desviación estándar (n= 3) de temperatura, pH y conductividad eléctrica de las soluciones tratantes en la preparación de zeolitas ..	44
TABLA 9: Medición de parámetros de calidad de agua durante la fase experimental.....	47
TABLA 10: Parámetros del agua utilizada en las unidades experimentales.....	51
TABLA 11: Valores promedio y desviación estándar de los parámetros C.E. pH y temperatura en las soluciones utilizadas para la preparación de la zeolita de la segunda etapa experimental.....	51
TABLA 12: Composición granulométrica de la zeolita utilizada en la experimentación	51
TABLA 13: Concentración de NAT, NH ₃ y NH ₄ ⁺ según tratamientos	58
TABLA 14: Comparación de la concentración de NAT, NH ₃ y NH ₄ ⁺ según tratamientos	60
TABLA 15: Remoción de NAT, NH ₃ y NH ₄ ⁺ según tratamientos.....	63
TABLA 16: Comparación de la remoción de NAT, NH ₃ y NH ₄ ⁺ según tratamientos.....	64
TABLA 17: Valores promedio de los parámetros de agua por tratamientos.....	66
TABLA 18: Concentración de NAT, NH ₃ y NH ₄ ⁺ según tratamientos y control.....	72

TABLA 19: Comparación de la concentración de NAT, NH ₃ y NH ₄ ⁺ según tratamientos y control.....	73
TABLA 20: Remocion de NAT, NH ₃ y NH ₄ ⁺ según tratamientos.....	76
TABLA 21: comparación de remoción de NAT, NH ₃ y NH ₄ ⁺ por tratamientos.....	77
TABLA 22: Parámetros de la calidad de agua por tratamientos.....	79
TABLA 23: Resultados de crecimiento y supervivencia de <i>P. Innesi</i> por tratamientos y control.....	87
TABLA 24: Comparación de medias de la supervivencia de los tratamientos.....	88

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: Estructura de la zeolita, mostrando la configuración atómica entre el silicio y oxígeno (izquierda) y la estructura geométrica tridimensional (derecha).....	21
FIGURA 2: Laboratorio de Acuicultura de la Universidad Nacional Agraria La Molina; Laboratorio Húmedo.....	39
FIGURA 3: Flujo de proceso de preparación de la zeolita para la experimentación.....	44
FIGURA 4: Estructura de los filtros de acuario utilizados en el experimento.....	46
FIGURA 5: Distribución de los tratamientos en el área experimental.....	48
FIGURA 6: Distribución de los tratamientos en el área experimental.....	55
FIGURA 7: Variación diaria de la concentración de NAT por tratamientos (promedios, n = 3).....	56
FIGURA 8: Variación diaria de la concentración de N-NH ₃ por tratamientos (promedios, n = 3)	57
FIGURA 9: Variación diaria de la concentración de N-NH ₄ por tratamientos (promedios, n = 3).....	58
FIGURA 10: Variación diaria de la remoción de NAT por tratamientos (promedio, n = 3)....	61
FIGURA 11: Variación diaria del porcentaje de remoción de NAT por tratamiento (promedio, n = 3).....	62
FIGURA 12: Variación diaria de la remoción de NAT por gramo de zeolita por tratamiento (promedio, n = 3).....	62
FIGURA 13: Variación diaria de la temperatura del agua por tratamiento (promedio, n = 3).....	66
FIGURA 14: Variación diaria del pH del agua por tratamiento (promedio, n = 3).....	67

FIGURA 15: Variación diaria de la conductividad eléctrica del agua por tratamiento (promedio, n = 3).....	68
FIGURA 16: Variación diaria de la concentración de sodio en el agua por tratamiento (promedio, n = 3).....	69
FIGURA 17: Variación diaria de la concentración de NAT por tratamiento (promedio, n = 3).....	70
FIGURA 18: Variación diaria de la concentración de N-NH ₃ por tratamiento (promedio, n = 3).....	71
FIGURA 19: Variación diaria de la concentración de N-NH ₄ por tratamiento (promedio, n = 3).....	71
FIGURA 20: Variación diaria de la remoción de NAT del agua por tratamiento (promedio, n = 3).....	74
FIGURA 21: Variación diaria del porcentaje de remoción de NAT por tratamiento (promedio, n = 3).....	75
FIGURA 22: Variación diaria de la remoción de NAT por gramo de zeolita por tratamiento (promedio, n = 3).....	75
FIGURA 23: Variación diaria de la temperatura del agua por tratamiento (promedio, n = 3)..	80
FIGURA 24: Variación diaria del pH del agua por tratamiento (promedios, n = 3).....	81
FIGURA 25: Variación diaria de la conductividad eléctrica del agua por tratamiento (promedios, n = 3).....	83
FIGURA 26: Variación diaria del nivel de sodio del agua por tratamiento (promedios, n = 3).....	83
FIGURA 27: Variación diaria de los valores promedio nivel de oxígeno en el agua.....	85
FIGURA 28: Concentración de nitrato presente en el agua.....	86

INDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: Ficha técnica de la zeolita utilizada.....	103
ANEXO 2: Ficha técnica del agua desionizada utilizada (Fuente: Adesco Peru).....	104
ANEXO 3: Experiencias de usos de la zeolita en tratamiento de cuerpos acuáticos.....	105
ANEXO 4: Usos de la zeolita en la Industria.....	107
ANEXO 5: Determinación de la cantidad de cloruro de amonio requerida para la primera etapa del experimento.....	108
ANEXO 6: Remoción de nitrógeno amoniacal total de las unidades experimentales (primera etapa) Promedio (n= 3).....	110
ANEXO 7: Prueba ANOVA nparLD: temperatura (primera etapa).....	110
ANEXO 8: Prueba ANOVA nparLD: pH (primera etapa).....	111
ANEXO 9: Prueba ANOVA nparLD: Conductividad eléctrica (primera etapa).....	111
ANEXO 10: Prueba ANOVA nparLD: Sodio (primera etapa).....	111
ANEXO 11: Remoción de Nitrógeno Amoniacal del Medio (segunda etapa).....	112
ANEXO 12: Biometría realizada al culminar la segunda parte experimental.....	113
ANEXO 13: Tabla de cambio de ración alimenticia (g).....	113
ANEXO 14: Prueba ANOVA nparLD: temperatura (segunda parte).....	114
ANEXO 15: Prueba ANOVA nparLD: pH (segunda parte).....	114
ANEXO 16: Prueba ANOVA nparLD: conductividad eléctrica (segunda parte).....	115
ANEXO 17: Prueba ANOVA nparLD: Sodio (segunda etapa).....	115
ANEXO 18: Prueba ANOVA nparLD regresión lineal primera parte.....	116
ANEXO 19: Prueba ANOVA nparLD regresión lineal segunda parte.....	116

ANEXO 20: Establecimiento del sistema de retrolavado de la zeolita.....	117
ANEXO 21: Preparación de las muestras de cloruro de amonio para inoculación a los medios.....	118
ANEXO 22: Tanque de adaptación de los peces ornamentales.....	118
ANEXO 23: Biometría de los peces utilizados: peso (izquierda), talla (derecha).....	119
ANEXO 24: Restos de los peces capturados dentro del filtro.....	119

RESUMEN

En el presente trabajo se evaluó el efecto de tres tipos diferentes de tratamiento de zeolita (sódica, descationizada y natural) en la remoción de nitrógeno amoniacal total del agua, en los parámetros de pH, conductividad eléctrica y concentración de iones sodio (Na^+) de un medio específicamente acondicionado para el mantenimiento y cultivo de especies ornamentales amazónicas y en la supervivencia de peces amazónicos colocados en el medio mencionado. Se fabricaron filtros convencionales de acuario utilizando como sustrato zeolita tratada con cloruro de sodio, con agua desionizada y sin tratamiento (natural), y se probó el funcionamiento de los mismos, midiendo temperatura, pH, conductividad eléctrica, presencia de NAT (NH_3 y NH_4^+) y la remoción de la misma. Consistiendo el experimento en dos etapas, en la primera de 14 días de duración se trabajó con sal de cloruro de amonio (simulando excreción, evaluando exclusivamente la remoción de NAT) y en la segunda de 18 días de duración con peces de tipo neón tetra *Paracheiroduon innesi*. En ambas etapas se pudo comprobar que no existió diferencia significativa entre los tratamientos en cuanto a remoción de NAT (siendo los promedios porcentuales de 22.77% para la zeolita sódica, 20.65% para la zeolita descationizada y 21.78% en la zeolita natural en la primera etapa y 53.26% para la zeolita sódica, 54.34% para la zeolita descationizada y 55.86% para la zeolita natural en la segunda etapa). En la primera etapa en particular no se evidenció diferencia significativa en el resto de parámetros. En la segunda etapa, sí se pudo apreciar un cambio significativo en los parámetros de pH, conductividad eléctrica e iones sodio analizados (7.37, 221.24 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 25.36 mg/l respectivamente de parte de la zeolita sódica, superiores a los demás tratamientos que tuvieron en promedio 7.13, 73.96 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 3.45 mg/l). Los tratamientos no tuvieron efecto significativo en la supervivencia de los peces.

Palabras clave: Neón tetra, filtros, NAT, cloruro de amonio, supervivencia.

ABSTRACT

In the present work it was evaluated the effect of three types of zeolite (sodium treated, decationized and natural) in removal of total ammonium nitrogen, in the pH, electrical conductivity and sodium ion concentration (Na^+) from a water medium specifically conditioned for maintenance and culture of amazonic ornamental species and in the survival rate of Amazonian fished places in that same environment. Common aquarium filters were made using as a substrate zeolite treated with sodium chloride, deionized water and non-treated (natural) and tests were performed in which parameters of temperature, pH, conductivity, TAN presence (NH_3^+ y NH_4^+) and its removal were measured. Consisting the experiment in two stages, in the first one which lasted 14 days ammonia chloride salts were used (simulating excretin, strictly measuring TAN removal) and in the second one which lasted 18 days were used neon tetra *Paracheirodon innesi*. In both stages it was proved that there is no significative evidence between treatments regarding TAN removal (being the averages percentages of 22.77% for zeolite with sodium, 20,65% for uncationized zeolite and 21.78% for natural zeolite in the first stage and 53.26% for zeolite with sodium, 54.34% for uncationized zeolite and 55.86% for natural zeolite in the second stage). In the first stage, in particular, there was no evidence of significative difference in the remaining parameters. Instead, in the second stage, it could be observed a significative change in the pH, electric conductivity and sodium ions parameters analyzed (7.37, 221.24 $\mu\text{S}/\text{cm}$ and 25.36 mg/l of sodium zeolite, above the other treatments, which had an average of 7.13, 73.96 $\mu\text{S}/\text{cm}$ and 3.45 mg/l). There was no significative difference between treatments on fish survival.

Keywords: Neon Tetra, filters, TAN, ammonium chloride, survival

I. INTRODUCCION

El creciente interés por los peces ornamentales amazónicos ha hecho que a lo largo de los años el cultivo de estos pase de ser una actividad recreativa a ser una actividad con una importancia considerable en las áreas comercial y científica.

A pesar de haberse desarrollado investigaciones y tecnologías de cultivo que pueden ser aplicadas a un número considerable de estos peces, el mantenimiento de la calidad de agua sigue siendo un problema debido a que estas requieren condiciones específicas de agua (baja dureza, bajo pH y alta temperatura) y metodologías convencionales, como la nitrificación y el recambio de agua constante, ven reducida su efectividad en estas condiciones (Claros, 2012). Por lo tanto, otras propuestas como el intercambio iónico surgen como alternativas.

Se conoce a la zeolita como un intercambiador iónico natural el cual tiene como usos catalizador de reacciones químicas, tamiz molecular y tratamiento de aguas. Este último uso es especialmente importante en la acuicultura, debido a que es selectivo para ciertos contaminantes presentes en el agua. Ejemplos de esto pueden verse al evaluar su funcionamiento en acuiculturas de otras especies amazónicas (Kumar 1999) y no amazónicas (Obradović *et al.* 2006)

Sin embargo, es importante señalar que el mismo mecanismo de intercambio iónico por el cual opera hace que su efectividad sea limitada por la gradiente de concentración iónica presente en el medio (la cual determina su eficacia para remover amonio) y por su capacidad total de adsorción (una vez saturada, la zeolita no será capaz de realizar la adsorción de amonio).

No se conoce todos los efectos en la calidad del agua que tendría el uso de la zeolita en los sistemas de cultivo de peces ornamentales, debido a los pocos trabajos reportados en este tema.

Por lo tanto, el objetivo principal de este experimento determinar el efecto de la filtración con zeolita clinoptilolita en la calidad del agua con fines de uso en acuicultura ornamental.

Se tiene como objetivos específicos comparar la eficiencia de remoción de nitrógeno amoniacal en el agua del cultivo de peces ornamentales, aplicando filtros de zeolita natural, tratada con sodio y descationizada; determinar el efecto del uso de las mismas en el pH, la conductividad eléctrica y la concentración de iones sodio del agua de cultivo de peces ornamentales y evaluar la supervivencia de la especie neón tetra *Paracheiroduon innesi* en sistemas con diferentes filtros de zeolita.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1. ZEOLITAS

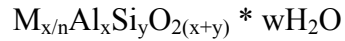
Las zeolitas son un conjunto de minerales que pertenecen al grupo de los aluminosilicatos cristalinos que poseen una estructura altamente porosa y carga negativa en su estado puro.

Se originan a partir de los procesos volcánicos de la litosfera terrestre. Teóricamente, el enfriamiento de la lava daría como resultado la formación de cristales de diferente composición; primero cristales sin silicatos, luego ortosilicatos y posteriormente metasilicatos y feldespatos. El enfriamiento de la lava originaría formaciones minerales ricas en basaltos, lo que permitiría la formación de las zeolitas (Bosch y Schifter 1997).

2.1.1. Composición química

Las zeolitas están conformadas por un arreglo estructural de tetraedros de SiO_4 , compartiendo cargas iónicas con otro tetraedro de SiO_4 (Morante 2004) o AlO_4 (García 2002). Sin embargo, es posible que en esta estructura algunos átomos de silicio sean reemplazados por átomos de aluminio, formando así estructuras de SiO_2 y Al_2O_3 que se entrelazan entre sí, compartiendo de esta forma los oxígenos. Este arreglo hace que tengan una carga negativa intrínseca, la cual es neutralizada con cationes monovalentes o divalentes para mantener neutralidad eléctrica. (Fleitas y Rodríguez 2011; Morante 2004)

No existe una conformación específica para las zeolitas, habiendo diferentes tipos y clases, dependiendo de su conformación y composición específica. Sin embargo, siguen esta composición básica:



Donde:

- M es el catión respectivo al cual se asocia el aluminosilicato, siendo x el número de cationes que componen la zeolita y n la valencia del mismo.
- Al es aluminio, siendo x el número de átomos del mismo.
- Si es silicio, siendo y el número de átomos del mismo.
- O al oxígeno, su cantidad el doble de la suma de los átomos de aluminio y silicio: $2(x+y)$.

El número de moléculas de agua es variable, por lo tanto su cantidad se expresa como $w(H_2O)$.
(Bosch y Schifter 1997)

2.1.2. Estructura geométrica

En general las zeolitas tienen una estructura molecular cristalina: sus átomos tienen una conformación geométrica determinada, formando una red cuyos átomos de silicio están ubicados en los vértices de la estructura.

La conformación de estos cristales genera cavidades en la estructura del mineral, proporcionándole sus características porosas (ver figura 1).

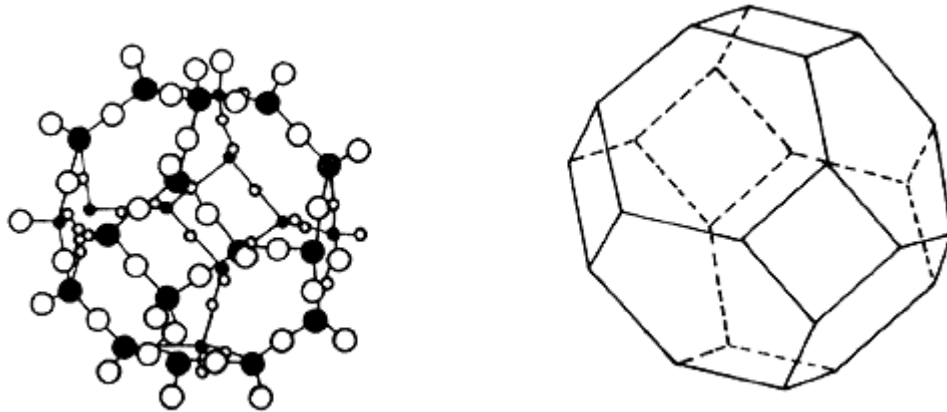


Figura 1: Estructura de la zeolita, mostrando la configuración atómica entre el silicio y oxígeno (izquierda) y la estructura geométrica tridimensional (derecha) (Fuente: Bosch y Schifter 1997)

En estas estructuras, los cationes de silicio y aluminio son los que se ubican en la parte central, mientras que los oxígenos están ubicados en las partes externas (Morante 2004). En condiciones naturales, moléculas de agua ocupan estas cavidades (Nieves 2000). El tamaño de estas cavidades difiere en cada tipo de zeolita. Dependen tanto de la proporción Si/Al existente como de los tipos de cationes metálicos presentes en su conformación. (CATC 1999)

2.1.3. Tipos de zeolita

Las zeolitas abarcan un grupo amplio de aluminosilicatos que poseen una estructura geométrica definida y carga negativa, según lo explicado anteriormente.

Las zeolitas pueden diferenciarse de acuerdo a la composición de elementos que las conforman, la estructura geométrica, el tamaño de sus cavidades, su gravedad específica, la dimensión de sus canales, su estabilidad térmica y su capacidad de intercambio iónico, dando como resultado diferentes variedades de zeolitas en el medio natural (ver tabla 1)

Tabla 1: Tipos de zeolita y sus características (Morante 2004)

Zeolita	Formula	Sistema cristalino	Volumen de poro	Gravedad específica	Dimensión de canales	Estabilidad térmica	Capacidad de intercambio iónico
Analcima	$\text{Na}_{16}(\text{Al}_{16}\text{Si}_{32}\text{O}_{96}) \cdot 16\text{H}_2\text{O}$	Cúbico	18	2.24-2.29	2.6	Alta	454
Chabazita	$(\text{Na}_2\text{Ca}_6)(\text{Al}_{24}\text{Si}_{24}\text{O}_{72}) \cdot 40\text{H}_2\text{O}$	Hexagonal	47	2.05-2.10	3.7 x 4.2	Alta	381
Clinoptilolita	$(\text{Na}_4\text{K}_4)(\text{Al}_8\text{Si}_{40}\text{O}_{96}) \cdot 24\text{H}_2\text{O}$	Monoclínico	39	2.16	3.9 x 5.4	Alta	254
Erionita	$(\text{Na}, \text{Ca}_{0.5}, \text{K})_9(\text{Al}_8\text{Si}_{27}\text{O}_{72}) \cdot 27\text{H}_2\text{O}$	Hexagonal	35	2.02-2.08	3.6 x 5.2	Alta	312
Faujasita	$\text{Na}_{58}(\text{Al}_{58}\text{Si}_{134}\text{O}_{384}) \cdot 240\text{H}_2\text{O}$	Cúbico	47	1.91-1.92	7.4	Alta	339
Ferrierita	$(\text{Na}_2\text{Mg}_2)(\text{Al}_6\text{Si}_{30}\text{O}_{72}) \cdot 18\text{H}_2\text{O}$	Ortorrómico	-	2.14-2.21	4.3 x 5.5 3.4 x 4.8 4.0 x 5.5	Alta	233
Heulandita	$\text{Ca}_4(\text{Al}_8\text{Si}_{28}\text{O}_{72}) \cdot 24\text{H}_2\text{O}$	Monoclínico	39	2.10-2.20	4.4 x 7.2 4.1 x 4.7	Baja	291
Laumontita	$\text{Ca}_4(\text{Al}_8\text{Si}_{16}\text{O}_{48}) \cdot 16\text{H}_2\text{O}$	Monoclínico	34	2.20-2.30	4.6 x 6.3	Baja	425
Mordenita	$\text{Na}_8(\text{Al}_8\text{Si}_{16}\text{O}_{48}) \cdot 24\text{H}_2\text{O}$	Ortorrómico	28	2.12-2.15	2.9 x 5.7	Alta	229
Natrolita	$\text{Na}_{16}(\text{Al}_{16}\text{Si}_{24}\text{O}_{80}) \cdot 16\text{H}_2\text{O}$	Ortorrómico	23	2.20-2.26	6-7 x 7.0 2.6 x 3.9 4.2 x 4.4	Baja	526
Phillipsita	$(\text{Na}, \text{K})_{10}(\text{Al}_{10}\text{Si}_{22}\text{O}_{64}) \cdot 20\text{H}_2\text{O}$	Ortorrómico	31	2.15-2.20	2.8 x 4.8 3.3	Baja	387
Wairakita	$\text{Ca}_8(\text{Al}_{16}\text{Si}_{32}\text{O}_{96}) \cdot 16\text{H}_2\text{O}$	Monoclínico	20	2.26	-	Alta	461
Linde A	$\text{Na}_{12}(\text{Al}_{12}\text{Si}_{12}\text{O}_{48}) \cdot 27\text{H}_2\text{O}$	Cúbico	47	1.99	4.2	Alta	548
Linde X	$\text{Na}_{86}(\text{Al}_{86}\text{Si}_{106}\text{O}_{384}) \cdot 264\text{H}_2\text{O}$	Cúbico	50	1.93	7.4	Alta	473

Según su estructura tridimensional se pueden clasificar en:

Ortosilicatos: Tetraedros $(\text{SiO}_4)^{-4}$ independientes entre sí y unidos por cationes.

Nesosilicatos: Dos, tres, cuatro o seis tetraedros unidos entre sí.

Ciclosilicatos: Redes en cadena en las cuales los tetraedros se disponen en serie, uno tras otro, o enlazados cada uno al siguiente formando una cadena abierta (infinita).

Inosilicatos: Redes en cinta formadas por unión simétrica de dos cadenas que se disponen como un objeto y su imagen reflejada.

Filosilicatos: Estructuras en hojas caracterizadas por anillos séxtuples de tetraedros unidos en el plano, unos a continuación de otros.

Tectosilicatos: Todos los átomos de oxígeno pertenecen simultáneamente a dos tetraedros. Los tetraedros SiO_4 forman redes unidas tridimensionalmente. La mayoría de las zeolitas pertenecen a este grupo.

(Morante 2004, García 2002)

También pueden clasificarse de acuerdo a su comportamiento respecto al agua:

- Las zeolitas hidrofílicas son las que se encuentran de forma natural. Este tipo de zeolitas tiene afinidad por el agua, por tanto la adsorberá.
- Las zeolitas hidrofóbicas generalmente son las sintéticas, las cuales no poseen afinidad por el agua, pero sí por los compuestos orgánicos. Esto se da en zeolitas donde la relación entre silicio y aluminio es mayor.

(CATC 1999)

2.1.4. Propiedades de la zeolita

Debido a su estructura molecular y sus propiedades químicas, las zeolitas se caracterizan por tener, entre otras, las siguientes propiedades:

- Intercambio iónico:

Las zeolitas son excelentes aceptores de cationes metálicos o no metálicos. Debido a que sus cationes mono o divalentes están unidos débilmente, son intercambiables por otros presentes en el medio (Morante 2004, Duarte y Vizcaíno 2015). El intercambio iónico se puede dar en contacto con una solución salina acuosa o solvente no acuoso, con una sal fundida o un compuesto gaseoso. (Bosch y Schifter 1997)

El proceso de intercambio iónico está influenciado por los cationes a intercambiar, la temperatura, el pH, la concentración catiónica en solución, los aniones asociados a los cationes en la solución, el tipo de solvente y el tipo de zeolita. (Acevedo *et al.* 2011 *in* Duarte y Viscaino 2015; Pavón *et al.* 2003 *in* Duarte y Viscaino 2015; Endo *et al.* 2013, Bosch y Schifter 1997; Endo *et al.* 2013 Chiayvareesajja y Boyd 1993; Fuentes *et al.* 1999; Somenholzner 2005; Song *et al.* 2014 y Aguilar 2014).

- Tamiz molecular:

Debido a su estructura cristalina porosa (la cual tiene cavidades de un determinado tamaño), son capaces de funcionar como tamiz molecular, permitiendo al paso de ciertas sustancias e impidiendo la entrada de otras más grandes (García 2002, Corona *et al.* 2009).

La capacidad de tamiz molecular depende de la temperatura y del catión presente en la zeolita (CATC 1999, Bosch y Schifter 1997).

- Hidratación:

El agua puede ocupar las cavidades presentes en la zeolita, propiedad que aumenta con la temperatura; por lo tanto son usadas como material desecante (Bosch y Schifter 1997).

- Adsorción:

Las cavidades que presenta la zeolita le permiten retener moléculas dentro de su estructura, siempre y cuando estas posean el tamaño adecuado para adherirse (CATC 1999). Las cavidades liberadas al desorber el agua (por calentamiento) puede ser ocupadas por estas moléculas (Endo *et al.* 2013).

2.1.5. Algunos usos de las zeolitas

- Intercambiadores iónicos en purificación de aguas.
- Descontaminantes de residuos líquidos y gaseosos.
- Separación de oxígeno y nitrógeno del aire.
- Catalizadores en cracking del petróleo.
- Adsorbentes resistentes a los ácidos en secado de gases.
- Trampas para elementos radioactivos en efluentes líquidos de instalaciones nucleares.
- Eliminación de compuestos de nitrógeno en la sangre de enfermos de riñón.
- Materiales de relleno y cubierta de residuos radioactivos en sus almacenamientos.
- Sustitutivos de fosfatos en detergentes.
- Aditivo para alimentación animal.

(Bosch y Schifter 1997, Morante 2004, Duarte y Vizcaíno 2015)

2.1.6. Usos de la zeolita en la acuicultura

Debido a las propiedades de la zeolita de filtrar y adsorber sustancias tóxicas del agua, son utilizadas en el ámbito de acuicultura para realizar el manejo de las condiciones de esta. (Ghasemi *et al.* 2016).

Entre sus propiedades más buscadas en la acuicultura están la retención de amonio (mediante intercambio iónico), función como sustrato para bacterias (filtro biológico) y remoción de gases perjudiciales (Wen *et al.* 2006). De esta manera se reducen los contaminantes en el medio acuático y mejora su calidad. Posteriormente la zeolita puede reutilizarse, aprovechando el amonio secuestrado. (García 2002).

2.1.7. Modificación y regeneración de la zeolita

Debido a que la propiedad de intercambio iónico de la zeolita es una reacción reversible, la zeolita puede ser modificada realizando el cambio de los iones que la componen por otros iones deseados con los cuales puede realizarse una aplicación determinada. (García 2002)

La modificación de la zeolita se basa en la utilización de soluciones iónicas determinadas para realizar el intercambio iónico entre la zeolita y la solución circundante. La zeolita es añadida a estas soluciones por un tiempo determinado y luego es retirada y secada. De este modo la zeolita ya está lista para ser utilizada.

La finalidad de la modificación de la zeolita es incrementar la capacidad de intercambio iónico, selectividad frente a un componente a remover de un medio o modificar el medio a tratar utilizando a la zeolita.

Un ejemplo es el intercambio iónico por sodio. Al someter a la zeolita a una solución concentrada 2M de hidróxido de sodio NaOH (Cuchimaque Lugo 2006) o salina NaCl (Sprynskyy *et al.* 2004), por 24 horas, esta intercambiara los iones adsorbidos con los iones de

sodio presentes en la solución. El resultado es una zeolita homoiónica cuyo catión intercambiable es sodio (Curkovi *et al.* 1996).

La utilidad de este tipo de zeolita es diversa. Debido a que la zeolita en su forma sódica tiene una mayor afinidad para captar amonio (Sprynskyy *et al.* 2005), su utilidad para tratamiento de aguas acuícolas es viable.

La homoionización de la zeolita a su forma sódica permite incrementar a su vez la afinidad que esta tiene por iones metálicos pesados (Curkovi y Cerjan-Stefanovic 1996) e inclusive a ser utilizada para remover toxinas como tintes industriales (Gutiérrez 2011). El uso de la homoionización puede ser aprovechado como paso intermedio para acondicionarla con plata con la finalidad de utilizarla con fines antimicrobianos (Gonzaga 2013).

La zeolita también puede convertirse en una forma ácida, sin iones metálicos, conocida como descationizada (Bosch y Schifter 1997). Este tipo de zeolita se obtiene al realizar la remoción de los iones metálicos presentes en la zeolita e intercambiarlos por iones H^+ , dándole así las propiedades ácidas ya mencionadas.

La obtención de la zeolita descationizada puede darse calentado la zeolita cargada por iones NH_4^+ a $350^\circ C$, dando como resultado una zeolita descationizada y amoniaco como resultado (Bosch y Schifter 1997). Así mismo, el uso de zeolita en su forma sódica en agua desionizada muestra un intercambio iónico entre los hidrógenos del agua y el sodio de la zeolita (Song *et al.* 2014). Meilani *et al.* (2016) demostraron en su trabajo que el tratamiento de agua de lluvia con zeolita muestra un incremento en su conductividad y nivel de pH, sugiriendo el intercambio iónico entre los hidrógenos del agua y los cationes de la zeolita.

La modificación también puede ser de tipo física. Debido a que la capacidad de adsorción de la zeolita aumenta con la disminución del diámetro de partícula (aumentando así la superficie de contacto) (Sprynskyy *et al.* 2004, Ghasemi *et al.* 2016 y Lebedynets *et al.* 2004), se prefiere partículas más finas de la misma para realizar el filtrado (de preferencia entre 100 y 300 micrómetros de diámetro), lo cual puede hacerse con cualquier medio físico disponible, como un mortero (Sprynskyy *et al.* 2004).

La regeneración de la zeolita consiste en la restitución de la zeolita a condiciones que le permitan ser utilizada nuevamente para realizar una determinada función. Este procedimiento es una aplicación de la modificación de la zeolita, en la cual se utiliza soluciones determinadas para homoionizarla nuevamente.

Un ejemplo de esto se muestra en el trabajo de Gonzales (2013), en el cual utiliza un filtro de zeolita en un centro de cultivo de truchas. Se utilizó un solución salina al 10 por ciento para limpiar el filtro por un periodo de 12 horas.

2.2. ZEOLITA CLINOPTILOLITA

La zeolita clinoptilolita es una zeolita de la familia de las heulanditas. Es un aluminosilicato hidratado de sodio, potasio y ocasionalmente calcio (García 2002, Fleitas y Rodríguez, 2011).

La estructura química de la clinoptilolita es la siguiente:

$(\text{Na}, \text{K}, \text{Ca}_{0.5}, \text{Sr}_{0.5}, \text{Ba}_{0.5}, \text{Mg}_{0.5})_6 [\text{Al}_6\text{Si}_{30}\text{O}_{72}] \sim 20\text{H}_2\text{O}$ (Olguin 2013).

Su coeficiente de intercambio iónico varía $1.5 \pm 0.4 \text{ Meq.g}^{-1}$ (García 2002).

Generalmente las zeolitas de la familia de las heulanditas cambian estructuralmente en la deshidratación. Sus capacidades de adsorción dependen de la temperatura: si la deshidratación ocurre a temperaturas por debajo de 130°C , las heulanditas adsorberán H_2O y amoníaco (NH_3): si se deshidratan a temperaturas más altas, no ocurre ninguna adsorción.

Sin embargo, la clinoptilolita es considerablemente más estable a la deshidratación que otras heulanditas y adsorbe fácilmente H_2O y CO_2 . Su composición química es perceptiblemente diferente a la de ellas en su proporción de Si/Al y en cationes intercambiables y su estabilidad térmica es de 700°C (Morante *et al.* 2004 y Garcia 2002).

2.3. ANTECEDENTES DE USO DE ZEOLITAS EN INDUSTRIA Y ACUICULTURA

Una de las aplicaciones más importantes que tiene la zeolita es su uso en el tratamiento de cuerpos acuáticos, pudiéndose citar como ejemplos la remoción de metales pesados del agua (Fe^{2+} , Mn^{2+}) (Cuchimaque *et al.*, 2016) y remoción de amonio (Wen *et al.*, 2006) (anexo 3)

En el ámbito industrial tiene como aplicaciones la descontaminación de aire mediante sistemas de filtración (CATC, 1999) y como insumos en la producción de detergentes (Bosch y Schifter, 1997; Corona *et al.*, 2009) (anexo 4)

En la acuicultura generalmente tiene dos usos, ya sea como aditivo alimenticio para las especies de cultivo (Galindo *et al.* 2006; Tapia-Salazar *et al.*, 2010) (tabla 2) o para el mantenimiento de la calidad de agua de las mismas (Nezhad y Pourbagher ,2001; Kumar, 1999) (tabla 3)

Tabla 2: Experiencias de uso de zeolitas en la alimentación de especies acuícolas

Objetivo	Metodología	Resultados	Referencia
Evaluar efecto de inclusión de la zeolita en la alimentación de <i>Litopenaeus schmitti</i>	Inclusión de diferentes concentraciones de zeolita en el alimento de las especies	Mayor crecimiento y factor de conversión alimenticia al incluir zeolita Cantidad recomendada: 0.9 por ciento	Galindo <i>et al.</i> (2006) Tapia-Salazar <i>et al.</i> (2010)
Evaluar efecto de inclusión de zeolita en la alimentación de truchas	Inclusión de bentonita y mordenita en 2.5 5.0 y 10.0 por ciento de concentración en el alimento	Incremento de crecimiento a 2.5 y 5 por ciento. Ligera reducción a 10 por ciento	Eya <i>et al.</i> (2008) Tapia-Salazar <i>et al.</i> (2010)
Evaluar efecto de inclusión de zeolita en dietas contaminadas con micotoxinas en la alimentación de <i>P. monodon</i> .	Inclusión de 10g/kg de vermiculita y 10g/kg de aluminosilicato no especificado en dietas contaminadas con 500 ppb de micotoxina	Se obtuvo mayor ganancia de peso y mejor conversión alimenticia. El uso de vermiculita incrementó la sobrevivencia en un 16 por ciento	Soonngam y Hutacharoen (2007) Tapia-Salazar <i>et al.</i> (2010)
Estudios comparativos entre los efectos de la zeolita, sílice y celulosa en alimentación de <i>Dicentrarchus labrax</i>	Se añadió porcentajes de cada compuesto al alimento de la especie <i>Dicentrarchus labrax</i> y se evaluó su respuesta	La especie mostró mejora en el crecimiento al utilizar zeolita en el alimento a comparación de los otros dos tratamientos.	Dias <i>et al.</i> (1998)
Efecto de la inclusión de zeolita en la alimentación de camarones juveniles <i>Litopennaeus vannamei</i>	Se hicieron 3 tratamientos: control, 5 y 10 por ciento de zeolita incluida en la alimentación de la especie	El tratamiento de 10 por ciento dio como resultado un mayor crecimiento y mejor conversión alimenticia.	Espinosa (2002)

Tabla 3: Mantenimiento de calidad de agua en acuicultura

Objetivo	Metodología	Resultados	Referencia
Estudio comparativo entre zeolita clinoptilolita y carbón activado	Análisis de adsorción de amonio de la zeolita clinoptilolita y carbón activado	La zeolita es más efectiva en la adsorción de amonio y menos influenciada por la salinidad que el carbón activado	Nezhad y Pourbagher (2001)
Efecto de la zeolita en la exposición a plomo del bagre <i>Heteropneustes fossilis</i>	Inclusión de la zeolita a medio acuático de una especie de bagre expuesta a corto y largo plazo a una disolución de nitrato de plomo en el medio.	En ambos casos los efectos adversos del plomo fueron mitigados	Kumar (1999)
Efecto de la zeolita en los parámetros de calidad de agua, crecimiento y parámetros nutricionales del pez ángel <i>Pterophyllum scalare</i>	Se utilizaron concentraciones de 1.5, 4, 10 y 15 por ciento de zeolita en el medio acuático y se evaluaron los resultados	La zeolita permitió mejorar parámetros de crecimiento y conversión alimenticia Se detectó reducción de amonio y ablandamiento de agua. Porcentaje de mayor efecto: 10 por ciento de zeolita	Ghiasi y Jasour (s.f.)

Tabla 3 (Continuación): Mantenimiento de calidad de agua en acuicultura

Efecto del uso de zeolita en la acuicultura de trucha	Se incluyó zeolita como composición de alimento y 60kg de zeolita en el medio acuático.	Efectos positivos en el crecimiento y tamaño final de las truchas. Reducción en dureza, amonio y nitrito del agua	Obradović <i>et al.</i> (2006)
Regeneración de zeolita empleada para remoción de amonio	Se regenero a su forma sódica zeolita cargada con amonio a temperatura ambiente y de reflujo	En ambos casos se consideró regenerar la zeolita hasta en un 95% como mínimo.	Garcia (2002)
Efecto del uso de zeolita en sistema acuapónico	Se realizaron diferentes porcentajes de inclusión de zeolita y bacterias nitrificantes en el cultivo acuapónico de carpas y alfalfa.	Una combinación entre 10 por ciento de inclusión de zeolita e inoculo bacteriano dio la mayor reducción de amonio y el mayor crecimiento de alfalfa.	Motesharezadeh <i>et al.</i> (2014)
Efecto de la zeolita en el crecimiento y desarrollo microalgal	Se utilizaron varios tipos de zeolita y de cantidades de la misma en diferentes cepas microalgales	Los agentes zeolíticos incrementaron el crecimiento microalgal, desde 30 por ciento hasta 100 por ciento en comparación con un patrón	Nieves (2000)

2.3.1. Eficiencia del uso de la zeolita en la remoción de compuestos tóxicos en el agua de cultivo

Chiayvareesajja y Boyd (1993) y Sonnenholzner (2004) señalan que el intercambio iónico de la zeolita se da a través de diferencia de concentraciones iónicas de esta y el medio acuoso que la rodea (el cual posee NAT disuelto). En ambos trabajos se señala que la remoción de NAT del medio acuático se incrementa al aumentar la concentración de zeolita utilizada, pero la capacidad de remoción de NAT por gramo de zeolita utilizado (eficiencia por gramo) disminuye.

Sonnenholzner (2004) demostró que el decrecimiento de la concentración de N-amonio al incrementar la cantidad de zeolita utilizada es de tipo exponencial. Esto significa que los adsorbentes son mucho más eficientes removiendo NAT cuando la concentración relativa del soluto sea elevada respecto a la cantidad de adsorbente utilizado. Sin embargo, también señala que para poder mantener una baja concentración de equilibrio de soluto (NAT), debe sacrificarse la eficiencia de remoción por gramo de la zeolita añadiendo más de esta al medio

Por su parte, Chiayvareesajja y Boyd (1993) señalan que 1g/l zeolita por mg/l NAT es la máxima cantidad de mineral que debe utilizarse para maximizar la reducción de la cantidad de amonio en el medio. Se consiguió una remoción de NAT del medio superior a 90%, sin embargo la remoción de NAT por gramo de zeolita se vio reducida. Cantidades mayores solo aportarían un aumento marginal en la remoción de nitrógeno sin poder removerlo completamente, lo cual hace impráctico su uso pasado cierto volumen de adsorbente.

Inversamente, determinaron que se puede obtener una remoción de 8.56 mg de NAT por gramo de zeolita utilizando 2g/l de zeolita en un medio con concentración de NAT de 32mg/l. A esta concentración solo se removió el 50% del total de NAT presente en el medio.

Chiayvareesajja y Boyd (1993) también demostraron que el aumento de la dureza en el agua redujo la capacidad de la zeolita de remover NAT, señalando que la presencia de iones calcio en el agua compitieron con el amonio por los sitios de intercambio de la zeolita.

2.3.2. Comercialización de las zeolitas en Perú

Las zeolitas pueden comercializarse dependiendo de su presentación, sea en polvo fino, grava u otros componentes ya procesados.

En Perú, esta generalmente es importada, siendo México, Cuba y Colombia los países de los cuales se reciben los mayores volúmenes.

Perú posee yacimientos zeolíticos en el departamento de Puno. Sin embargo, se desconoce el nivel de explotación del mismo (Costafrada *et al.*, 2018).

2.4 PARAMETROS DE LA CALIDAD DE AGUA DE IMPORTANCIA PARA EL MANTENIMIENTO DE PECES ORNAMENTALES AMAZONICOS

Las especies ornamentales amazónicas requieren condiciones ambientales específicas para su correcto desarrollo y desenvolvimiento, las cuales se asemejen a su hábitat natural, el cual es la cuenca amazónica; entre ellas se pueden mencionar las siguientes:

- a) Temperatura: De tipo cálida. Dependiendo del área puede variar en un rango de 24-29 °C según Nolorbe-Payahua *et al.* (2011) o 26-30 °C según Correa y Ortega (2010)
- b) pH: De tipo ácido, generalmente entre valores de 5.5 a 6.5 (Nolorbe-Payahua, *et al.* 2011) o de 5.0 a 6.0 (Duarte *et al.* 2013), pudiendo en algunas zonas superar el valor de 7 (Correa y Ortega, 2010).
- c) Conductividad eléctrica: Generalmente baja. Dependiendo del área puede ser desde 25 µs/cm hasta superar 100 µs/cm (Nolorbe-Payahua, *et al.* 2011) o disminuir a 10 µs/cm (Duarte *et al.* 2013) o menor (Correa y Ortega, 2010)
- d) Oxígeno disuelto: Variable, siendo un promedio de 5 mg/l Nolorbe-Payahua, *et al.* 2011) o menor a 4 mg/l (Correa y Ortega, 2010)

e) Dureza: Generalmente entre 0 y 53.4 mg/l CaCO₃ (Kullander, 1986)

2.5 EVALUACION DE MECANISMOS DE ELIMINACIÓN DE NITRÓGENO AMONIAL

Debido a lo dañino que es el nitrógeno amoniacal para los peces, este debe ser removido. Sin embargo, los parámetros del agua de tipo amazónica descrita anteriormente afectan la capacidad de las metodologías de remoción del mismo:

Recambio de agua: Los parámetros químicos del agua amazónica, especialmente el pH y la conductividad eléctrica, requieren que el agua de renovación tenga condiciones similares, lo cual implica un costo para realizar el tratamiento de la misma. Adicionalmente, luego de ser usada en el cultivo o mantenimiento de peces, el agua recambiada y descargada al medio podría producir efectos ambientales negativos, por tanto no es una alternativa viable si el recambio es de grandes volúmenes.

Nitrificación y desnitrificación: Este proceso requiere condiciones de pH superior a 7 y alta alcalinidad (como fuente de carbono inorgánico) para que pueda ser llevada a cabo de manera óptima, condiciones que no se dan en un ambiente acuático natural amazónico (Kullander, 1986).

Adicionalmente, las bacterias nitrificantes requieren un periodo previo de asentamiento, y el mismo procedimiento de nitrificación conlleva a un descenso de pH, lo cual implica una proporción NH₃/NH₄⁺ menor, un nivel de carbono inorgánico menor y la generación de ácido nitroso (HNO₂); situaciones antagónicas al proceso de nitrificación. (Aguado y Ferrer 2012, Claros 2011)

Intercambio iónico: Depende exclusivamente de las cargas electrostáticas de los iones y el agente secuestrante, siendo estos el ion amonio y la zeolita, respectivamente. El pH por debajo del neutro hace que la proporción NH₄⁺/NH₃ (Aguado y Ferrer 2012, Claros 2011) se incremente, aumentando así la cantidad de amonio secuestrable presente en el medio

La cantidad de amonio secuestrable es limitada debido a que la zeolita eventualmente llegará a su punto de saturación; sin embargo, es regenerable (García 2002). Su saturación implica que no puede ser usada para grandes volúmenes de agua que fluyen constantemente (Chiayvareessajja y Boyd 1993). No obstante, si los volúmenes de agua son menores y/o no constantes, es una alternativa válida y económica.

2.6 SITUACION DE LAS ESPECIES ORNAMENTALES EN EL PERU

El potencial del Perú para la acuicultura ornamental radica en la enorme cantidad de especies que posee en su región amazónica. Trabajos como los de Chuquipiondo (2013) muestran la historia del creciente desarrollo de esta actividad, desde las extracciones sin conocimiento mayor de las especies hasta centros desarrollados para el análisis y extracción de las mismas.

Campos Baca (2006) mencionó que el 80 por ciento de la captura total de los peces ornamentales provino de las cuencas de los ríos Ucayali, Nanay y Trapiche. En el 2003 las especies con mayor volumen de exportación fueron *Otocinclus affinis* (2.141.184 especímenes), *Osteoglossum bicirrhosum* (1.257.112 especímenes) y *Corydora julii* (649.461 especímenes) y los destinos de exportación fueron Miami con 3.837.447 especímenes, Los Ángeles con 977.030 especímenes y Tokio con 841.295 especímenes.

En el trabajo de Salazar y Oliva (2013), sobre las exportaciones de peces ornamentales en Loreto durante el periodo 2008-2012, se determinó que la especie de mayor importancia ornamental fue la especie neón tetra (*Paracheirodon innesi*), acaparando el 59.73% del total de las exportaciones.

La exportación de peces ornamentales amazónicos demuestra ser una actividad de importancia económica para el Perú, siendo de esta manera importante desarrollar metodologías de mantenimiento y manejo de calidad de agua para estas especies. Adicionalmente se puede apreciar que ya existen trabajos en acuicultura de peces ornamentales en los cuales se utiliza zeolita como parte del filtro (Ghiasi y Jasour, s.f.).

2.7 ESPECIES ORNAMENTALES AMAZONICAS REPRESENTATIVAS DEL PERU

En la tabla 4 se hace mención a las especies de peces ornamentales más relevantes de la amazonía peruana, de acuerdo a su potencial comercial, volúmenes de exportación y tener unos requerimientos ambientales que puedan considerarse como estándar para la región amazónica.

Tabla 4: Requerimientos ambientales de las especies ornamentales elegidas

Especie	Temp. (°C)	pH	Dureza (ppm CaCO ₃)	Conductividad eléctrica (µS/cm)	Fuente
Tetra neón (<i>Paracheirodon innesi</i>)	21 – 26	5. – 7.5	18-178	48 – 116	Freshwater Aquarium Book
Pez ángel (<i>Pterophyllum scalare</i>)	23 – 29	6.0 – 7.5	89-232	100 - 200	Fishlore.com (2013)
Apistogramma (<i>Apistogramma agassizii</i>)	24 – 28	5.5 – 6.8	53–178	20	Aquarium Industries. 2009
Disco verde (<i>Symphysodon aequifasciatus</i>)	27 – 30	5 – 7	1-143	50 – 100	Fishlore.com (2013)
Disco rojo (<i>Symphysodon heckel</i>)	27 – 30	5 – 7	1-143	20	Fishlore.com (2013)
Pez lápiz (<i>Nannostomus trifasciatus</i>)	22 – 28	5.5 – 6	1.8 – 21	18 – 38	Fishlore.com (2013)

Los requerimientos ambientales de estas especies dificultan el trabajo con metodologías convencional de mantenimiento de agua para el cultivo de las mismas (sección 2.5). Esto hace que sea importante desarrollar y profundizar en trabajos que permitan elaborar metodologías que puedan aplicarse al cultivo de estas especies (tabla 3).

III. MATERIALES Y METODOS

El ensayo experimental consistió en realizar pruebas de remoción de nitrógeno amoniacal total simulado (por medio de sales de laboratorio) y generado por una especie de pez ornamental presente en cuerpos de agua amazónicos. Para lo cual se simularon condiciones de conductividad eléctrica menor a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y pH menor a 7.

Para realizar estas pruebas se utilizaron filtros esquineros de acuarios comunes cuyo medio de filtración consistió en paquetes de zeolita con diferente tipo de tratamiento, con la finalidad de determinar la eficiencia de remoción y algunos efectos que la zeolita pudiese tener en el medio acuático.

Los tipos de zeolita utilizados fueron:

- Zeolita sódica (ZNa^+): zeolita con tratamiento de agua con elevada concentración de sal.
- Zeolita descationizada (ZH^+): zeolita con tratamiento de agua desionizada.
- Zeolita natural (ZN): zeolita sin tratamiento.

3.1 Lugar y tiempo de ejecución:

Las pruebas se llevaron a cabo en el Laboratorio de Acuicultura de la Facultad de Pesquería de la Universidad Nacional Agraria La Molina (ver figura 2).

El Laboratorio de Acuicultura está diseñado para realizar cultivos experimentales de especies acuáticas. Para esto cuenta con un sistema de recirculación de agua, un sistema de aireación que consiste en bomba de aire marca Sweetwater de 1 HP, tubos de conducción del aire y dos secciones que poseen dos filas de 8 acuarios cada una. Se trabajó en una de estas secciones.



Figura 2: Laboratorio de Acuicultura de la Universidad Nacional Agraria La Molina; Laboratorio Húmedo.

El ensayo experimental consistió de dos etapas:

- La primera etapa consistió en el análisis de remoción de nitrógeno amoniacal total en acuarios sin peces, utilizando los tres tipos de zeolita, simulando concentraciones de NAT utilizando sal de cloruro de amonio. Se analizó adicionalmente el efecto que los diferentes tratamientos de zeolita tuvieron en los parámetros de pH, conductividad eléctrica y concentración de iones Na^+ en el agua.
- La segunda etapa consistió en el análisis de remoción de NAT excretado por el pez ornamental neón tetra *Paracheirodon innesi* utilizando los tres tipos de zeolita.

En este experimento se tomó como único factor de remoción de nitrógeno amoniacal total a la zeolita y los recambios de agua necesarios. Por tanto, se decidió que la duración experimental fuese de 14 días para la primera etapa y 18 días para la segunda con la finalidad de evitar la aparición de un proceso de nitrificación relevante dentro del sistema que interfiriese con la remoción de NAT. La duración se determinó basándose en los trabajos de Gallego-Alarcon y Garcia-Pulido (2017), Hernandez-Martinez (2014) y Regueiro y Soula (2020).

3.2 Primera etapa experimental

3.2.1 Actividades previas al experimento

a. Acondicionamiento de las unidades experimentales

Las unidades experimentales fueron 9 acuarios de 67 litros cada uno y se trabajó con un volumen efectivo de 48 litros. Los acuarios fueron limpiados, desinfectados con una solución de hipoclorito de sodio al 5%, rotulados y sus superficies cubiertas de color negro para oscurecerlos con la finalidad de simular las bajas condiciones de luz de su ambiente natural

b. Preparación del agua para las unidades experimentales

El agua utilizada para llenar los acuarios fue una mezcla de agua potable (proveniente del distrito de Surco) y agua desionizada, proveniente de la empresa Adesco Perú (anexo 2), ambas con las características descritas en la tabla 9. Para determinar la proporción de agua potable y desionizada se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Vol}(\text{agua desionizada}) * \text{CE}(<1\mu\text{S}/\text{cm}) + \text{Vol}(\text{agua potable}) * \text{CE}(325\mu\text{S}/\text{cm}) = \text{Vol}(\text{acuاریo}) * \text{CE}(\text{final})$$

Se calculó una proporción de 44.3 litros de agua desionizada y 3.7 litros de agua potable para cada acuario. Los parámetros del agua resultante fueron de pH de 7.13 y conductividad eléctrica de 31.92 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (tabla 5).

Tabla 5: Valores promedio y desviación estándar (n= 3) de pH y conductividad eléctrica del agua potable y desionizada utilizadas en la prueba pre experimental

Parámetro	Unidades	Agua desionizada	Agua Potable	Agua preparada
pH	-	5.80 ± 0.17	7.35 ± 0.05	7.13 ± 0.04
Conductividad Eléctrica	µS/cm	<1	325 ± 1.73	31.92 ± 0.99

c. Determinación de la cantidad de cloruro de amonio requerida para la primera etapa del experimento.

Se utilizó cloruro de amonio para análisis marca Riedel-de Haen con 99.5% de pureza como fuente de nitrógeno amoniacal.

La cantidad de sal utilizada se determinó en función a la estimación de la excreción neta de NAT de la especie tetra cardinal (*Paracheirodon axelrodi*), siendo esta una especie del mismo género y hábitat del neón tetra (Wood *et al.*, 2014), la cual fue de 4.32 mg NAT/g de pez diarios y se realizaron los cálculos respectivos (anexo 5).

Para una biomasa calculada de 25 gramos de peces por unidad experimental se calculó 314.4 mg de sal de cloruro de amonio (6.55 mg/l de cloruro de amonio) a agregar de forma constante, una vez al día, durante los 14 días de duración de esta fase. La cantidad de nitrógeno diaria añadida de esta forma fue de 1.72 mg/l. La cantidad total final de NAT por unidad experimental calculada para los 14 días del experimento fue de 31 mg/l.

d. Granulometría y acondicionamiento de la zeolita

La zeolita utilizada fue de la marca Agriconat, la cual posee las siguientes características proporcionadas por el proveedor (anexo 1), mostradas en la tabla 6.

Tabla 6: Características de la zeolita marca Agriconat utilizada en la experimentación

Tipo	Zeolita-clinoptilolita con 96% pureza
Color	Verde azulado
Formula química	$\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{Na}_2\text{O} - \text{MgO} - \text{CaO} - \text{K}_2\text{O}$
pH	7.1
Capacidad de intercambio catiónico	115.3 meq/100g

Se utilizaron tamices de abertura decreciente de 2000, 991, 500 y 212 μm para separar las partículas acorde a su granulometría (tabla 7). Las partículas menores a 500 μm fueron descartadas, debido a su dificultad de manipulación. Especialmente las partículas menores a 212 μm , debido a que generan turbidez en el agua (según lo evidenciado en los ensayos de prueba). Luego, se sometieron a un enjuague con agua destilada para remover polvo y suciedad presentes en esta.

Tabla 7: Composición granulométrica de la zeolita utilizada en la experimentación

TAMANO DE PARTICULA	PESO (g)	PORCENTAJE
>2000 μm	0.00	0.00
>991 μm , <2000 μm	7.82	0.77
>500 μm , <991 μm	923.69	90.88
>212 μm , <500 μm	40.40	3.97
<212 μm	44.51	4.38
Total	1016.42	100.00

Para determinar la cantidad de zeolita a utilizar, se siguieron las indicaciones de Chiayvareesajja y Boyd (1993) y Sonnenholzner (2004), quienes sugieren que la proporción óptima de zeolita sea de 1 gramo de la misma por mg/l de NAT en el medio, debido a que cantidades mayores de zeolita no incrementarían la remoción total de NAT, pero si reducirían la eficiencia de la zeolita. Se utilizó 31 g de zeolita por acuario en todos los tratamientos en base al cálculo anterior de 31 mg/l de zeolita de NAT por unidad experimental.

La zeolita sódica fue preparada sumergiendo la zeolita en una solución salina 2M de cloruro de sodio marca Scharlau de 99.5% de pureza por un período de 24 horas, en una proporción de 3g zeolita/100ml solución salina (Sprynskyy *et al.* 2005). Se utilizaron bidones de 7 litros los cuales fueron cortados en su base y colocados de forma invertida para luego ser llenados con la solución previamente mencionada. Luego se procedió a realizar la agitación ascendente mediante aireación. Para esto, se utilizó una manguerilla, un extremo de esta siendo conectado al sistema de aireación y el otro a la abertura del envase, formando así un mecanismo de retrolavado (anexo 19). Siendo la cantidad de zeolita requerida para el tratamiento 93 gramos la cantidad de solución utilizada fue de 3.1 litros. Se midieron los valores iniciales y finales de temperatura, conductividad eléctrica y pH de la solución en esta etapa (tabla 8), con la finalidad de verificar si hubo intercambio iónico entre la zeolita y el agua de tratamiento. El incremento de conductividad eléctrica en el agua desionizada demostró el funcionamiento del procedimiento.

La zeolita descationizada, fue preparada utilizando la misma metodología señalada para preparar zeolita sódica, utilizando agua desionizada en vez de solución salina.

El secado se realizó utilizando un horno eléctrico. La zeolita se colocó en bandejas metálicas y se realizaron 2 ciclos de secado de 20 minutos a 140 °C cada uno.

Al finalizar el procedimiento se tomó 31 g de zeolita para cada unidad experimental.

En la figura 3 se puede apreciar un flujograma que simplifica el procedimiento de acondicionamiento de la zeolita

Tabla 8: Valores promedio y desviación estándar (n= 3) de temperatura, pH y conductividad eléctrica de las soluciones tratantes en la preparación de zeolitas

Muestra		C.E. ($\mu\text{S/cm}$)	pH	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)
Agua desionizada	Pretratamiento	0.00 ± 0.00	7.35 ± 0.14	27.27 ± 0.06
Agua desionizada	Postratamiento	14.7 ± 1.64	7.26 ± 0.07	25.43 ± 0.46
Agua NaCl 2M	Pretratamiento	216000 ± 4214	8.83 ± 0.03	26.93 ± 0.15
Agua NaCl 2M	Postratamiento	214820 ± 1442	7.83 ± 0.05	27.17 ± 0.12

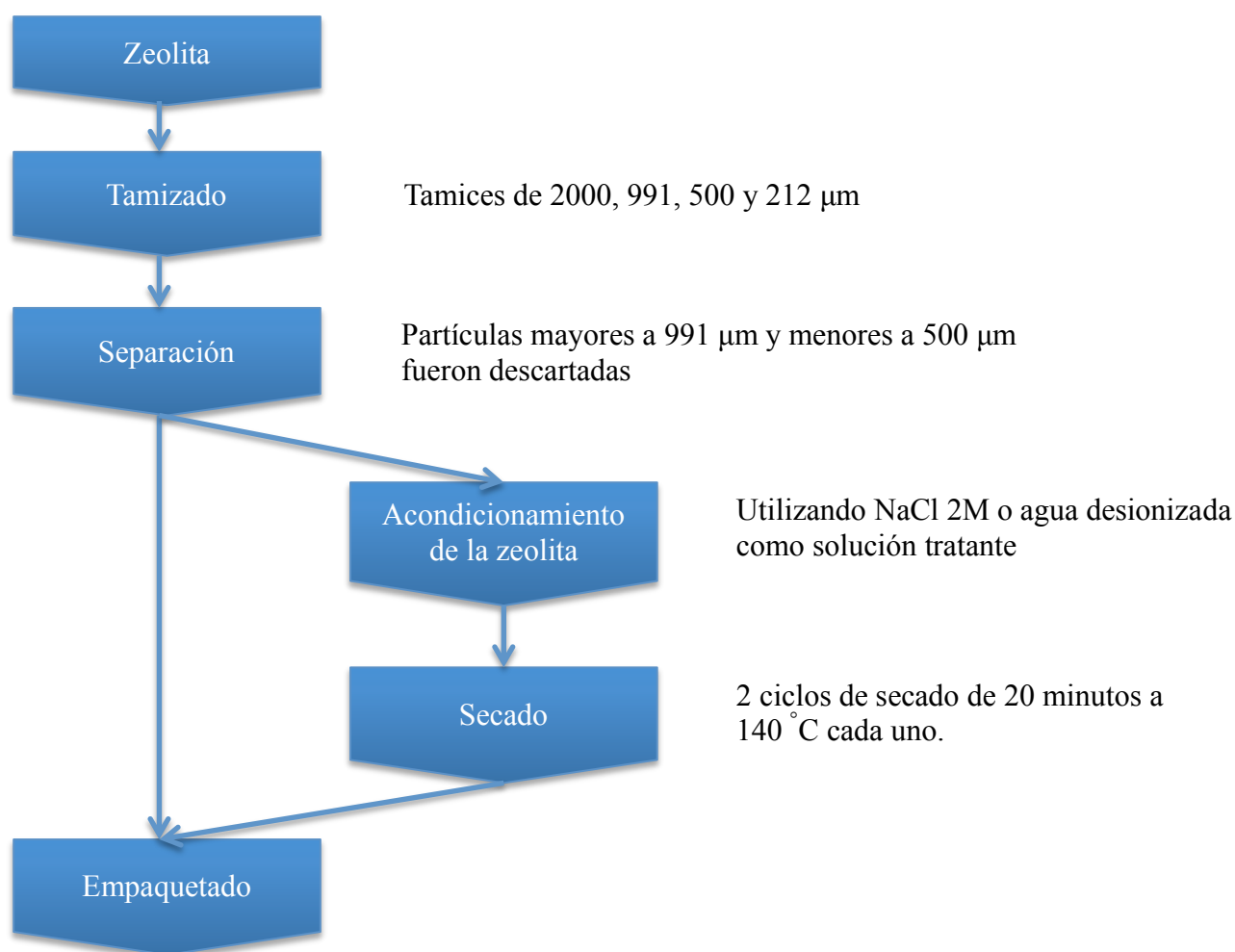


Figura 3: Flujo de proceso de preparación de la zeolita para la experimentación

e. Preparación de filtros con sustrato de zeolita

Los filtros comunes de acuario (de esquina), son estructuras angulares de plástico que permiten colocar en su interior un sustrato determinado y que pueden ser aireados mediante una entrada con una manguerilla de silicona generando así un flujo constante de agua al ser colocados al interior de los acuarios.

Nueve filtros fueron preparados con tres tipos de zeolita como sustrato (tres de cada tipo): filtros con zeolita en su forma natural (ZN), forma sódica (ZNa^+) y forma descationizada (ZH^+).

La zeolita preparada fue empaquetada en una tela porosa la cual permitió el paso del agua y a la vez retuvo la zeolita dentro de la misma. Esta posteriormente fue colocada dentro de cada filtro (figura 4).

Los filtros fueron colocados en el fondo de los acuarios y conectados a la fuente de aire para permitir el flujo de agua a través del sustrato y proceder a la filtración.

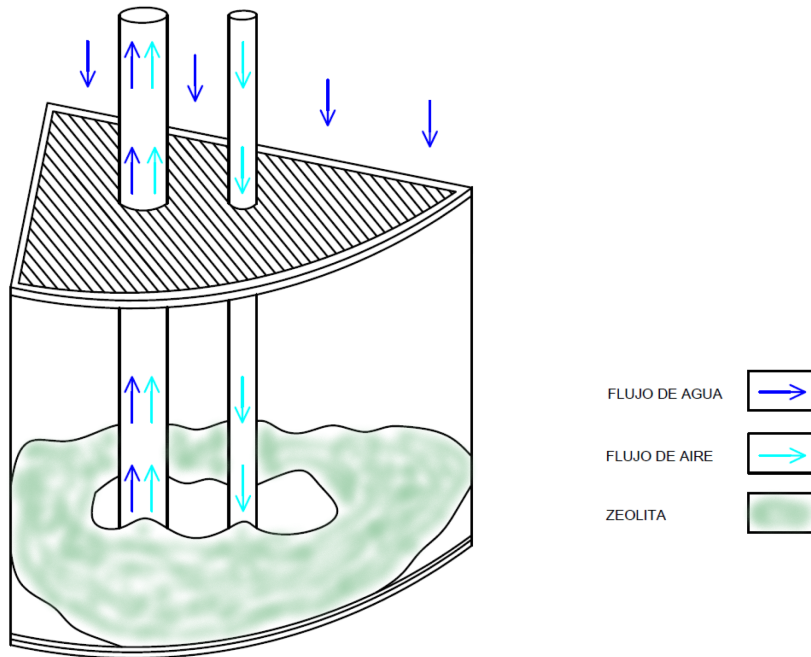


Figura 4: Estructura de los filtros de acuario utilizados en el experimento.

3.2.2 Ejecución de la primera etapa experimental

a. Inoculación del cloruro de amonio

En esta etapa se simuló la excreción de NAT al medio utilizando cloruro de amonio. Se agregó la cantidad diaria previamente determinada de 314.4 mg de sal de cloruro (31 mg/l) en cada acuario (posterior a la primera toma de datos, a las 9:00 am) durante los 14 días del experimento (anexo 20).

b. Medición de parámetros

La medición de parámetros de agua fue realizada según el detalle de la tabla 14. La temperatura fue medida en cada acuario y para los demás parámetros se tomó una muestra de 60 ml de cada acuario (con excepción de la muestra para analizar iones sodio, la cual fue de 600 ml).

Tabla 9: Medición de parámetros de calidad de agua durante la fase experimental

Parámetro	Metodología de medición	Unidad	Frecuencia	Horario
Temperatura	Termómetro de canastilla de plástico	° C	3 veces al día	8:00 am 12:00 m 4:00 pm
pH	Medidor multiparámetro portátil Marca HACH mod. HQ40d	-	1 vez al día	8:00 am
NAT	Kit de análisis Nessler Marca Hach	mg/l	1 vez al día	8:00 am
Conductividad eléctrica	Medidor multiparámetro portátil Marca HACH mod. HQ40d	μS/cm	1 vez al día	8:00 am
Iones sodio	Espectrofotómetro de absorción atómica marca Perkin Elmer Analyst 200*	mg/l	1 vez cada 3 días	8:00 am

*Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

c. Reposición de agua

El nivel de agua dentro de las unidades experimentales se repuso constantemente, debido a las pérdidas constantes por evaporación y toma de muestras, la cual fue de 0.65 litros diarios (1.35% del total).

3.2.3. Diseño experimental

El diseño experimental propuesto fue un diseño completamente al azar (DCA); se asignaron los tratamientos aleatoriamente a las unidades experimentales (figura 6), considerando tres repeticiones por tratamiento, siendo los tratamientos los siguientes:

Tratamiento 1: Filtro de zeolita sódica (ZNa^+) 3 repeticiones

Tratamiento 2: Filtro de zeolita descationizada (ZH^+) 3 repeticiones

Tratamiento 3: Filtro de zeolita sin tratamiento (ZN) 3 repeticiones

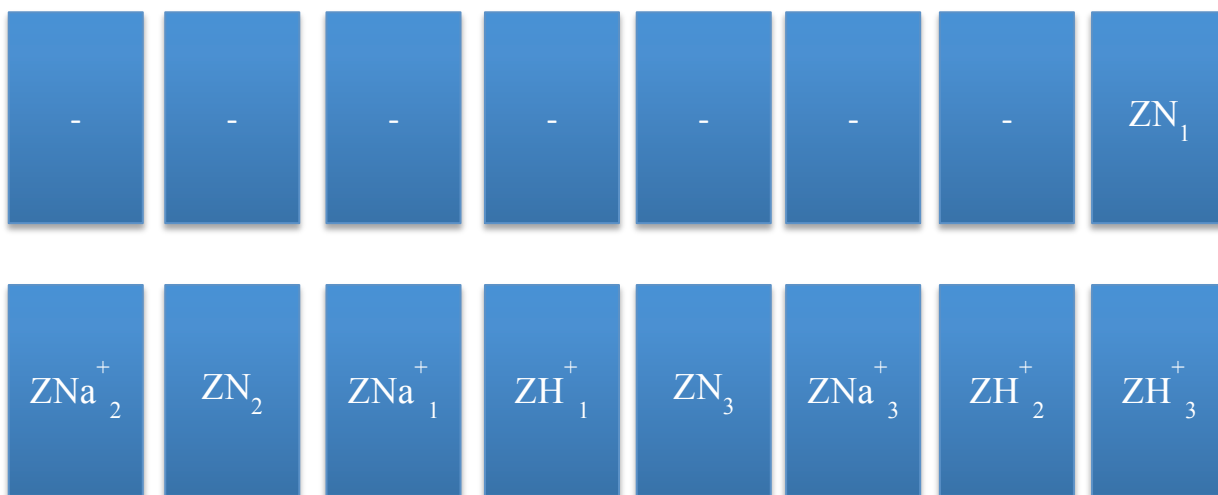


Figura 5: Distribución de los tratamientos en el área experimental

3.2.4. Análisis de resultados

Para determinar la cantidad de NAT removido en la primera parte, se utilizó la siguiente fórmula:

$$N_{\text{removido}}: NAT_{\text{inicial}} - NAT_{24h} \text{ (expresada en mg/l)}$$

Donde: $NAT_{inicial}$: Nitrógeno amoniacal inicial (añadido del día + acumulado de los días anteriores)

NAT_{24h} : Nitrógeno amoniacal a las 24 horas de tomado el $NAT_{inicial}$

El porcentaje de remoción de NAT de la primera parte se determinó realizando la siguiente ecuación:

$$\text{Porcentaje remoción de NAT} = [(N_{\text{removido}})/NAT_{\text{inicial}}]*100$$

La eficiencia del filtro fue evaluada en mg/l de NAT removida por un gramo de zeolita mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Eficiencia} = N_{\text{removido}}/\text{g zeolita}$$

Las concentraciones de $N-NH_3$ y $N-NH_4^+$ fueron estimadas a partir del NAT, el pH y la temperatura correspondiente utilizando tablas comparativas en línea (Florida Department of Environmental Protection, 2001).

3.2.5. Análisis estadístico

Se realizó con la finalidad de determinar la aceptación o el rechazo de la hipótesis:

H_0 : Los tratamientos producen la misma respuesta en la concentración final de NAT

H_a : Al menos un tratamiento produce una respuesta diferente en la concentración final de NAT.

Los datos fueron ordenados y procesados mediante el programa Microsoft Excel, y la evaluación estadística mediante los paquetes estadísticos R y R Studio (versión 1.1.463, 2018)

Las pruebas estadísticas mostraron incumplimiento del supuesto de normalidad en todos los casos, debido a que la evaluación de la variable respuesta se realizó en función al tiempo de experimentación. El tipo de análisis utilizado para evaluar la variable fue de tipo longitudinal

no paramétrico, requiriendo utilizar el paquete estadístico nparLD para el programa R y R Studio.

El análisis de tipo longitudinal consiste en el estudio de registro de datos que contienen medidas repetidas por un sujeto a lo largo de un periodo de tiempo, siendo la finalidad de este tipo de estudios evaluar cambios en el tiempo o la dinámica del tiempo en cierto efectos biológicos.

El mismo tipo de análisis se realizó para el amonio ionizado y no ionizado, temperatura, pH y conductividad eléctrica, evaluando el efecto del tratamiento en estos parámetros, y adicionalmente se efectuó una regresión lineal entre los parámetros NAT, temperatura y pH para cada tratamiento, siendo NAT la variable dependiente.

3.3. Segunda etapa experimental

En esta etapa se utilizaron 12 acuarios como unidades experimentales. El acondicionamiento de estas unidades, la preparación del agua (tabla 10), el tratamiento y análisis granulométrico de la zeolita (tabla 11) , el monitoreo de los parámetros (tabla 12) y la reposición de agua (1.35% diario) fueron similares a la primera etapa.

Adicionalmente, se realizó mediciones de oxígeno de forma interdiaria, previo a la última toma de parámetros del día, utilizando un oxímetro marca HACH y determinación de N-nitrato (como indicador de proceso de nitrificación) al inicio y final del experimento utilizando el método de reducción de cadmio con un espectrofotómetro DR3900 marca HACH (HACH, 2014)

Tabla 10: Valores promedio y desviación estándar de temperatura, pH y C.E. del agua utilizada en las unidades experimentales de la segunda etapa experimental

Parámetro	Medida	Unidad
Temperatura	26.63 ± 1.42	°C
pH	7.11 ± 0.15	-
Conductividad eléctrica	60.93 ± 3.96	μS/cm

Tabla 11: Valores promedio y desviación estándar de los parámetros C.E. pH y temperatura en las soluciones utilizadas para la preparación de la zeolita de la segunda etapa experimental

Muestra	C.E. (μS/cm)	pH	Temp (°C)
Agua desionizada Pretratamiento	0	7.41 ± 0.42	19.4 ± 0.10
Agua desionizada Postratamiento	8.18 ± 1.49	7.43 ± 0.32	20.01 ± 0.64
Agua NaCl 2M Pretratamiento	208067 ± 16519	6.91 ± 0.26	19.93 ± 0.42
Agua NaCl 2M Postratamiento	194560 ± 11653	6.08 ± 0.17	20.6 ± 0.10

Tabla 12: Composición granulométrica de la zeolita utilizada en la experimentación

TAMAÑO DE PARTICULA	PESO (g)	PORCENTAJE
>2000 μm	0.00	0.00
<2000 μm, >991 μm	15.29	0.66
<991 μm, >500 μm	2089.07	90.95
<500 μm, >212 μm	93.49	4.07
< 212 μm	98.91	4.30
Total	2296.76	100.00

3.3.1. Actividades previas al experimento

a. Adquisición de peces ornamentales

Se adquirieron 1000 individuos de la especie neón tetra (*Paracheirodon innesi*) provenientes de la empresa Acuario Leone. Los peces provinieron de la región amazónica, de la región de Loreto, y fueron puestos en cuarentena por 7 días en el local de la empresa, localizada en Villa María del Triunfo. Se confirmó el correcto estado de salud de los peces y la ausencia de parásitos.

Los parámetros del agua de recepción fueron temperatura de 21.3 °C, pH de 7.06 y conductividad eléctrica de 1642 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

b. Recepción y acondicionamiento de los peces ornamentales

Los peces fueron recepcionados en un tanque octogonal de fibra de vidrio de 700 litros (anexo 21); se usó 400 litros de agua (la cual fue una mezcla de agua potable y desionizada) con pH de 7.07 y 294 $\mu\text{S}/\text{cm}$ de conductividad eléctrica. El agua se mantuvo a una temperatura de 27.7 °C y aireación constante.

La aireación se realizó conectando una manguerilla (con su piedra difusora respectiva) a la fuente de aire del laboratorio y la temperatura se mantuvo constante utilizando calentadores con termostatos.

Los peces fueron aclimatados a condiciones de baja conductividad de forma paulatina, debido a que llegaron con agua de diferentes características (21.3 °C de temperatura, 7.06 de pH y 1642 $\mu\text{S}/\text{cm}$ de conductividad eléctrica). Luego de 14 días, el tanque alcanzó una temperatura de 26.5 °C, pH de 6.74 y conductividad eléctrica de 58.8 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

c. Biometría inicial y final de los peces

Los peces fueron medidos en longitud total (cm) y peso (g) al inicio y final del experimento. Se utilizó una muestra de 60 peces de los 1000 individuos comprados al inicio y 10% de cada unidad experimental (5 individuos) al final (anexo 12)

El tamaño menor de los peces condujo a que la medición del peso fuese de forma volumétrica (en grupos de 5) utilizando una balanza analítica DENVER (precisión 0.16 – 0.28 mg), y la medición de la longitud utilizando una regla graduada (anexo 22).

d. Acondicionamiento de la unidades experimentales

Se utilizaron 600 peces, distribuyéndose 50 en cada unidad experimental equivalente a una densidad de 1 ind/l, según lo recomendado por Saxby *et al.* (2010).

Luego de la siembra se observó mortalidad en algunas unidades experimentales la cual es atribuida al cambio de ambiente y manipulación de los peces. Estos fueron reemplazados inmediatamente antes de iniciar el experimento.

3.3.2 Determinación de la supervivencia de los peces

La supervivencia fue expresada en porcentaje y se calculó de la siguiente forma:

$$\text{Supervivencia} = [(\#ind.inicial - \#ind.final) / \#ind.inicial] * 100$$

3.3.3. Alimentación de los peces

Los peces recibieron alimento en escamas de marca Nutrafin con las siguientes características:

- Proteína cruda mínima: 46.0%
- Grasa cruda minina: 5.0%

- Fibra cruda máxima: 2.0%
- Humedad máxima: 8.0%

La tasa de alimentación fue ajustada en función al consumo entre el 1.2 y 3% de la biomasa/día, en dos raciones diarias (anexo 13).

Se verificó el porcentaje de proteína del alimento mediante un análisis de contenido de nitrógeno realizado en el Laboratorio de Evaluación Nutricional de Alimentos de la Universidad Nacional Agraria La Molina utilizando la metodología Kjeldahl. El contenido de nitrógeno fue de 7.39% y el de proteína 46.18%

El alimento consumido se expresó en gramos y se calculó de la siguiente forma:

Alimento consumido = (alimento diario calculado – alimento no suministrado)

3.3.4. Diseño experimental

El diseño experimental propuesto fue un diseño completamente al azar (DCA); se asignaron los tratamientos aleatoriamente a las unidades experimentales (figura 6), considerando tres repeticiones por tratamiento y adicionalmente un control con tres repeticiones, siendo los tratamientos los siguientes:

Tratamiento 1: Filtro de zeolita sódica (ZNa^+)	3 repeticiones
Tratamiento 2: Filtro de zeolita descationizada (ZH^+)	3 repeticiones
Tratamiento 3: Filtro de zeolita sin tratamiento (ZN)	3 repeticiones
Control: Unidades experimentales sin filtros	3 repeticiones

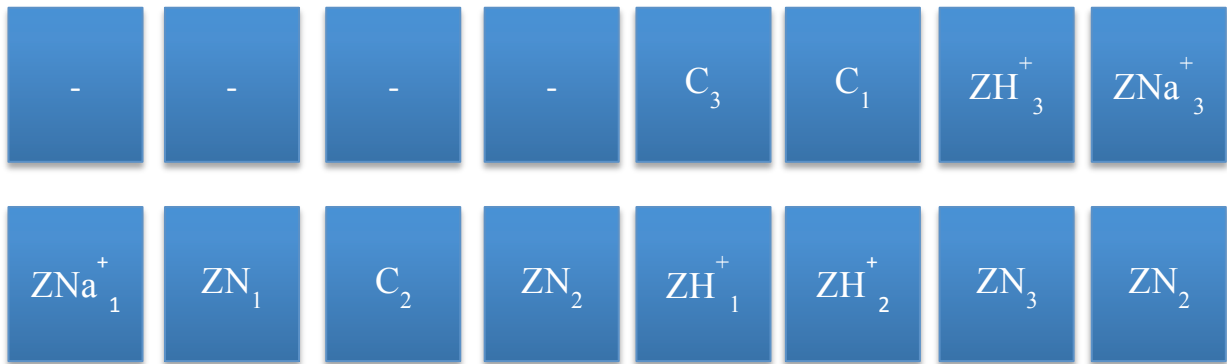


Figura 6: Distribución de los tratamientos en el área experimental

3.3.5. Determinación de la eficiencia de remoción de nitrógeno amoniacal total

Para determinar la cantidad de NAT removido en esta etapa se utilizó la siguiente fórmula:

$$N_{\text{removido}} = \text{NAT}_{\text{control}} - \text{NAT}_{\text{tratamiento}}$$

Donde: $\text{NAT}_{\text{control}}$: Promedio nitrógeno amoniacal total presente en los controles

$\text{NAT}_{\text{tratamiento}}$: Nitrógeno amoniacal total presente en la unidad experimental.

El porcentaje de remoción de NAT de esta etapa se determinó mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Porcentaje remoción de NAT} = [(\text{NAT}_{\text{control}} - \text{NAT}_{\text{tratamiento}}) / \text{NAT}_{\text{control}}] * 100$$

La eficiencia del filtro de la segunda parte fue evaluada en cantidad de mg/l de NAT removida por un gramo de zeolita mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Eficiencia} = N_{\text{removido}} / \text{g zeolita}$$

Donde: N_{removido} : Diferencia entre el nitrógeno control y nitrógeno del tratamiento.

3.3.6. Análisis estadístico

Similar a la etapa anterior, añadiendo en este caso al análisis el control con sus tres repeticiones. También se realizó el análisis de regresión lineal respectivo, el cual fue similar a la primera etapa.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Primera etapa experimental

4.1.1. Concentración de nitrógeno amoniacal total y sus formas disociadas

En la figura 7 se muestra que los acuarios con filtros de zeolita sódica (ZNa^+), descationizada (ZH^+) y natural (ZN) presentaron un incremento promedio constante de NAT durante los primeros cinco días (0.00 – 4.50 mg/l). Posteriormente los incrementos mostraron pendiente variables en todos los tratamientos hasta finalizar el experimento, alcanzando concentraciones finales promedio de 19.00 mg/l en ZNa^+ , 19.00 mg/l en ZH^+ y 19.33 mg/l en ZN.

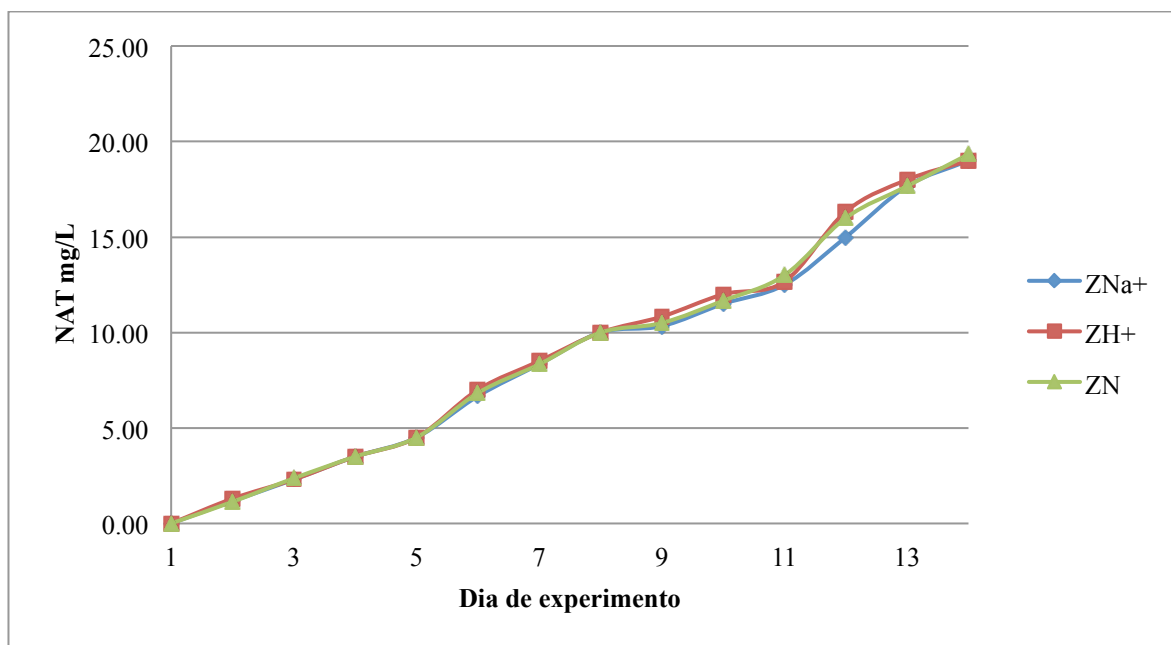


Figura 7: Variación diaria de la concentración de NAT por tratamientos (promedios, n = 3)

La figura 8 ilustra las variaciones de la concentración de N-NH₃ promedio para cada tratamiento (en todos los casos ascendente), similar en todos los tratamientos hasta el tercer día; a partir de este las concentraciones de N-NH₃ por tratamientos fueron variando, con los valores más elevados de 0.19 mg/l en el tratamiento ZH⁺ a diferencia de 0.10 mg/l en ZN y de 0.12 mg/l en ZNa⁺.

En la figura 9 se observa que los valores de la forma ionizada N-NH₄⁺ presenta un comportamiento similar que la del NAT en todos los tratamientos, con concentraciones finales de 18.89 mg/l para ZNa⁺, 18.81 mg/l para ZH⁺ y 19.23mg/l para ZN.

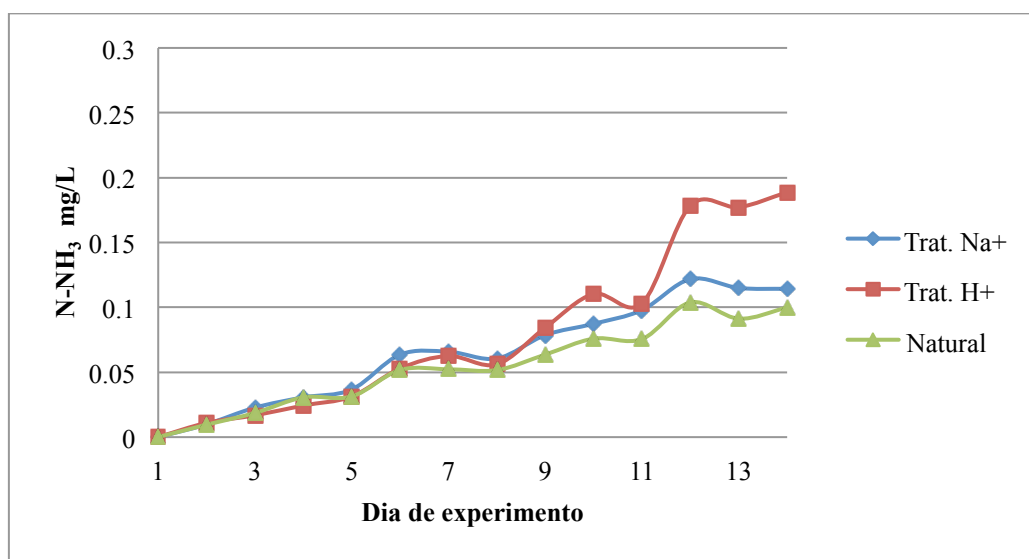


Figura 8: Variación diaria de la concentración de N-NH₃ por tratamientos (promedios, n = 3)

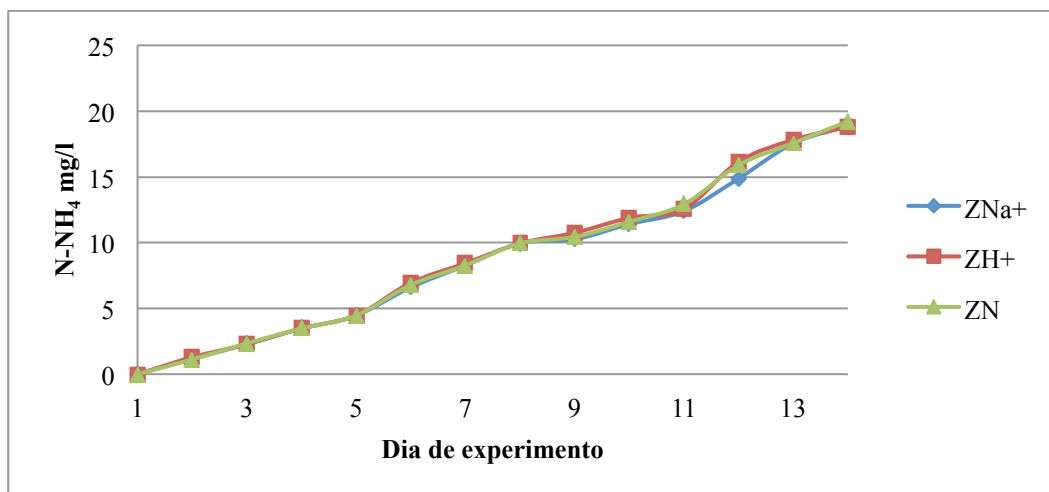


Figura 9: Variación diaria de la concentración de N-NH₄ por tratamientos (promedios, n = 3)

Un resumen general de los datos mencionados se puede apreciar en la tabla 13

Tabla 13: Concentración (mg/l) de NAT, NH₃ y NH₄⁺ según tratamientos

Parámetro	Unidad		ZNa ⁺	ZH ⁺	ZN
NAT	mg/l	Inicial	0.00	0.00	0.00
		Final	19.00	19.00	19.33
		Máximo	19.00	19.00	19.33
		Mínimo	0.00	0.00	0.00
NH ₃	mg/l	Inicial	0.00	0.00	0.00
		Final	0.11	0.19	0.10
		Máximo	0.12	0.19	0.10
		Mínimo	0.00	0.00	0.00
NH ₄ ⁺	mg/l	Inicial	0.00	0.00	0.00
		Final	18.89	18.81	19.23
		Máximo	18.89	18.81	19.23
		Mínimo	0.00	0.00	0.00

Tanto los valores finales y máximos de cada tratamiento respecto a la concentración de NAT, NH_3 y NH_4^+ coinciden (con excepción de los valores de NH_3 en el tratamiento ZNa^+). Esto corrobora lo apreciado en las figuras 8, 9 y 10, las cuales muestran un incremento de estas concentraciones en el medio.

4.1.2. Evaluación estadística de la concentración de nitrógeno amoniacal total y sus formas disociadas.

El análisis estadístico entre los tratamientos respecto a la concentración de NAT y N-NH_4 no mostró diferencia significativa entre estos. Las desviaciones estándar entre los tratamientos y entre las comparaciones fueron cercanas entre sí a su vez. En cambio, sí se presentó diferencia significativa entre los tratamientos respecto a la concentración de N-NH_3 . Los tratamientos de ZH^+ y ZN fueron los que presentaron diferencia significativa entre sí, lo cual puede corroborarse en la mayor desviación estándar presente entre estos. (ver tabla 14)

Tabla 14: Comparación de la concentración de NAT, NH₃ y NH₄⁺ según tratamientos

Parámetro		des. Est.	P-VALOR	SIGNIFICANCIA
NAT	Tratamientos	0.16	0.3581408	n.s.
	Comparación ZNa ⁺ :ZH ⁺	0.18	0.25134774	n.s.
	Comparación ZNa ⁺ :ZN	0.12	0.68234724	n.s.
	Comparación ZH ⁺ :ZN	0.13	0.16928994	n.s.
NH ₃	Tratamientos	0.01	0.128247	n.s.
	Comparación ZNa ⁺ :ZH ⁺	0.01	0.3556524	n.s.
	Comparación ZNa ⁺ :ZN	0.01	0.1683086	n.s.
	Comparación ZH ⁺ :ZN	0.02	0.06507208	*
NH ₄ ⁺	Tratamientos	0.16	0.37375376	n.s.
	Comparación ZNa ⁺ :ZH ⁺	0.17	0.34905707	n.s.
	Comparación ZNa ⁺ :ZN	0.13	0.66773105	n.s.
	Comparación ZH ⁺ :ZN	0.12	0.13704796	n.s.

El incremento constante del NAT y sus formas disociadas está relacionado a la adición diaria de cloruro de amonio.

La cantidad de N-amoniaco presente en el agua desde el segundo día sobrepasó los límites subletales generales para acuicultura de 0.02 mg/l según Ghasemi *et al.* (2016) y después del sexto día los límites de 0.06 mg/l acorde a Masser *et al.* (1992).

Posterior al día 11 de iniciado el experimento, se evidenció un incremento de N-NH₃ en los tratamientos de ZH⁺. Una posible explicación fue que esta fue ocasionada por la manipulación del filtro, con la finalidad de corregir su mal funcionamiento (ineficiente conexión de la manguerilla del aire)

4.1.3. Comparación de remoción de nitrógeno amoniacal total entre tratamientos

En la figura 14 se puede apreciar que los diferentes tratamientos (ZNa^+ , ZH^+ , ZN) tuvieron similar remoción de NAT, incrementándose en el día 11 a un valor máximo de 4.70 mg/l de NAT para ZNa^+ , 4.53 mg/l para ZH^+ y 4.20 mg/l para ZN

La remoción expresada en porcentaje mostró una tendencia descendente similar e irregular para los tres tratamientos a medida que se desarrolló el experimento (ver figura 15). Los más altos valores se detectaron en el día 5 del experimento (34.59% para los tres tratamientos), culminando con valores de 15.03% para ZNa^+ y ZH^+ y 13.54% para ZN el último día del experimento.

La remoción de NAT por gramo de zeolita (ver figura 12) mostró un comportamiento similar al observado por la remoción de NAT del medio (ver figura 10). Los valores máximos en este caso se detectaron en el día 11 y fueron de 0.15 mg/g de zeolita para ZNa^+ y ZH^+ y 0.14 mg/g para ZN .

El registro diario de la remoción de nitrógeno amoniacal de esta etapa puede visualizarse en el anexo 6.

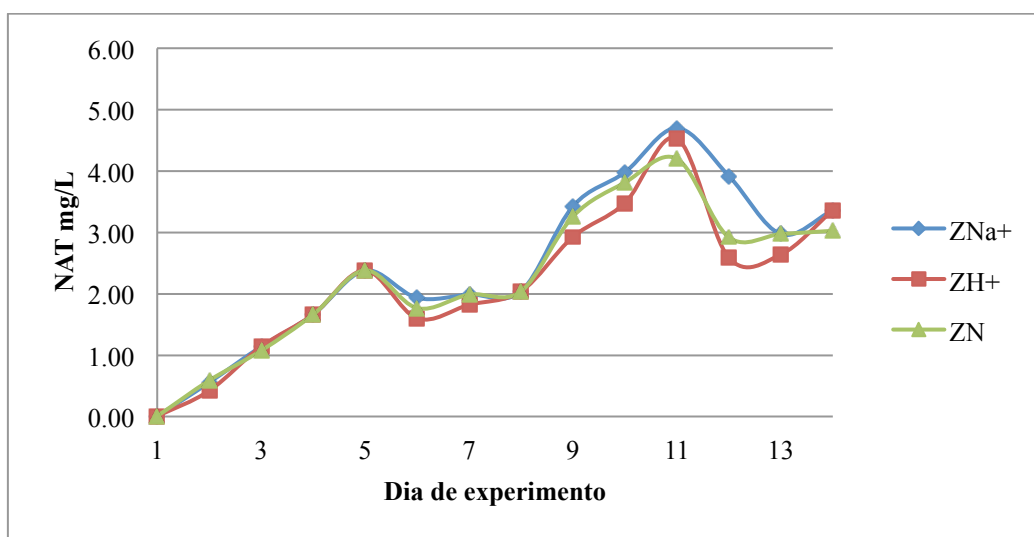


Figura 10: Variación diaria de la remoción de NAT por tratamientos (promedio, n = 3)

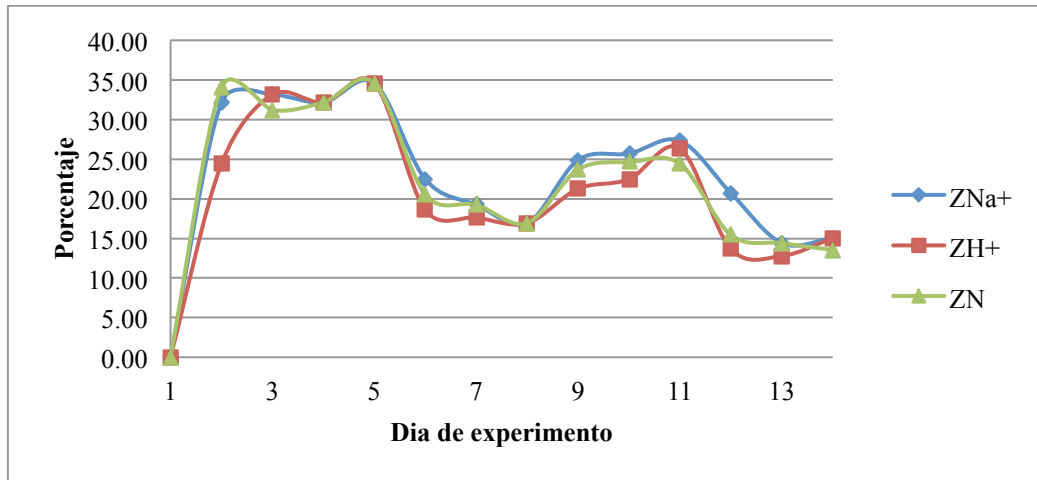


Figura 11: Variación diaria del porcentaje de remoción de NAT por tratamiento (promedio, n = 3)

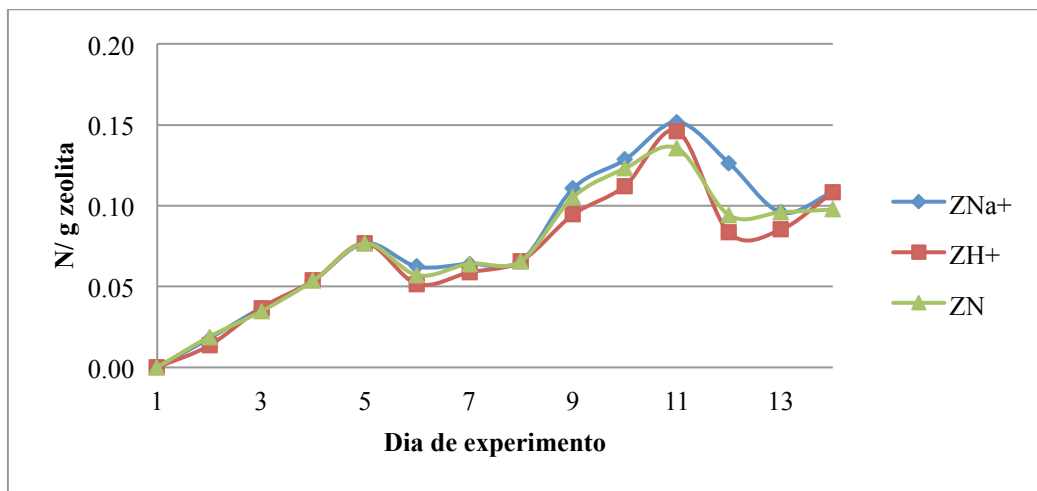


Figura 12: Variación diaria de la remoción de NAT por gramo de zeolita por tratamiento (promedio, n = 3)

Un resumen general de los datos mencionados se puede apreciar en la tabla 15

Tabla 15: Remoción de NAT, NH₃ y NH₄⁺ según tratamientos

Parámetro		ZNa⁺	ZH⁺	ZN
Remoción NAT (mg/l)	Inicial	0.00	0.00	0.00
	Final	3.36	3.36	3.03
	Máximo	4.70	4.53	4.20
	Mínimo	0.00	0.00	0.00
Porcentaje de remoción	Inicial	0.00	0.00	0.00
	Final	15.03	15.03	13.54
	Máximo	34.59	34.59	34.59
	Mínimo	0.00	0.00	0.00
Remoción NAT (mg/l) por gramo de zeolita	Inicial	0.00	0.00	0.00
	Final	0.11	0.11	0.10
	Máximo	0.15	0.15	0.14
	Mínimo	0.00	0.00	0.00

El análisis estadístico entre los tratamientos mostró que existe diferencia significativa entre los tratamientos ZNa⁺ y ZH⁺ evidenciado por presentar la desviación estándar mayor entre los pares de tratamientos. También existe diferencia significativa entre estos respecto a la eficiencia de remoción, lo cual también se evidencia en la desviación estándar de estos pares, que igualmente fue mayor y hay diferencia significativa respecto al porcentaje de remoción entre los tratamientos ZH⁺ y ZN (tabla 16). En este último caso, la desviación estándar no fue la mayor (siendo de 1.34), por lo tanto se asume a que esta diferencia significativa se debió a que en el día 2 hubo una marcada diferencia de valores entre estos (ver figura 12)

Tabla 16: Comparación de la remoción de NAT, NH₃ y NH₄⁺ según tratamientos

Parámetro		des. Est.	P-VALOR	SIGNIFICANCIA
Remoción NAT (mg/l)	Tratamientos	0.16	0.2725136	n.s.
	Comparación ZNa ⁺ :ZH ⁺	0.18	0.05903133	*
	Comparación ZNa ⁺ :ZN	0.12	0.5323232	n.s.
	Comparación ZH ⁺ :ZN	0.13	0.396453	n.s.
Porcentaje Remoción NAT	Tratamientos	1.40	0.1768563	n.s.
	Comparación ZNa ⁺ :ZH ⁺	1.50	0.1285236	n.s.
	Comparación ZNa ⁺ :ZN	0.90	0.4403148	n.s.
	Comparación ZH ⁺ :ZN	1.34	0.06974152	*
Remoción NAT (mg/l) por gramo de zeolita	Tratamientos	0.01	0.2725136	n.s.
	Comparación ZNa ⁺ :ZH ⁺	0.01	0.05903133	*
	Comparación ZNa ⁺ :ZN	0.00	0.5323232	n.s.
	Comparación ZH ⁺ :ZN	0.00	0.396453	n.s.

La adsorción de NAT por parte de la zeolita fue baja para todos los tratamientos. Un factor que influyó en este bajo rendimiento pudo ser la granulometría de la zeolita. Sprynskyy *et. al.* (2005) señalaron que a menor granulometría la zeolita tiene mayor capacidad de sorción. Al utilizar tamaños de partícula entre 1.4-2.0, 1.0-1.4, 0.71-1.0, 0.5-0.71, 0.35-0.5 y 0.125-0.35 mm, encontraron que los tres últimos diámetros (los menores) fueron los que más tardaron en saturarse. El tamaño de partícula en este experimento fue entre 991 y 500 µm, un tamaño moderadamente efectivo para la sorción de nitrógeno amoniacal total, pero aún relativamente susceptible de ser saturado.

Otro factor a considerar fue la cantidad de zeolita utilizada. Los trabajos de Chiayvareesajja y Boyd (1993) y Sonnenholzner (2004) señalan que la eficiencia por gramo de zeolita es mayor cuando hay mayor cantidad de soluto relativo al adsorbente e inversamente que el porcentaje de remoción por parte de la zeolita disminuye a medida que aumenta la cantidad de soluto en el medio. A su vez, también señalan que para tener una menor concentración de soluto en el agua, se debe añadir más adsorbente (zeolita) al medio. La adsorción por gramo se verá reducida, pero la remoción total aumenta.

Adicionalmente, Chiayvareesajja y Boyd (1993) señalan que el incremento de iones disueltos en el medio influye negativamente en la adsorción de NAT del medio, debido a la competitividad presente entre estos. El trabajo elaborado por Emahi *et al.* (2001) muestra igualmente que la capacidad de la zeolita remover NAT del medio disminuye a medida que la salinidad del medio aumenta.

El trabajo de Aguilar (2014), nos muestra que a medida que la zeolita aumenta, la capacidad de remoción de amonio también aumenta, en esta caso disminuyendo el tiempo que toma la solución circundante en llegar al equilibrio iónico. Sin embargo, no evidenció diferencia estadísticamente significativa en la remoción de NAT bajo las distintas salinidades usadas en el mismo.

4.1.4. Comparación de temperatura, pH, conductividad eléctrica e iones Na^+ entre los tratamientos

Se analizaron los valores promedio **de temperatura, pH, conductividad eléctrica e iones Na^+ entre los tratamientos**, incluyendo desviación estándar entre las repeticiones de los mismos. Los datos recopilados muestran similitud numérica entre tratamientos (tabla 17)

Tabla 17: Valores promedio de los parámetros de agua por tratamientos

	ZNa ⁺	ZH ⁺	ZN
Temperatura (°C)	25.80 ± 0.00001	25.91 ± 0.04	25.85 ± 0.19
pH	7.06 ± 0.07	7.06 ± 0.06	6.99 ± 0.08
Conductividad eléctrica (μS/cm)	145.77 ± 66.72	141.72 ± 67.87	138.46 ± 66
Sodio (mg/l)	6.43 ± 4.09	3.21 ± 1.90	3.17 ± 2.08

La temperatura promedio diaria para ZNa⁺, ZH⁺ y ZN fue de 25.8, 25.9 y 25.8 °C respectivamente. Así mismo, las temperaturas máximas y mínimas registradas fueron de 26.67 y 25.16 °C. Los termostatos permitieron mantener temperatura similar en todas las unidades experimentales (figura 13).

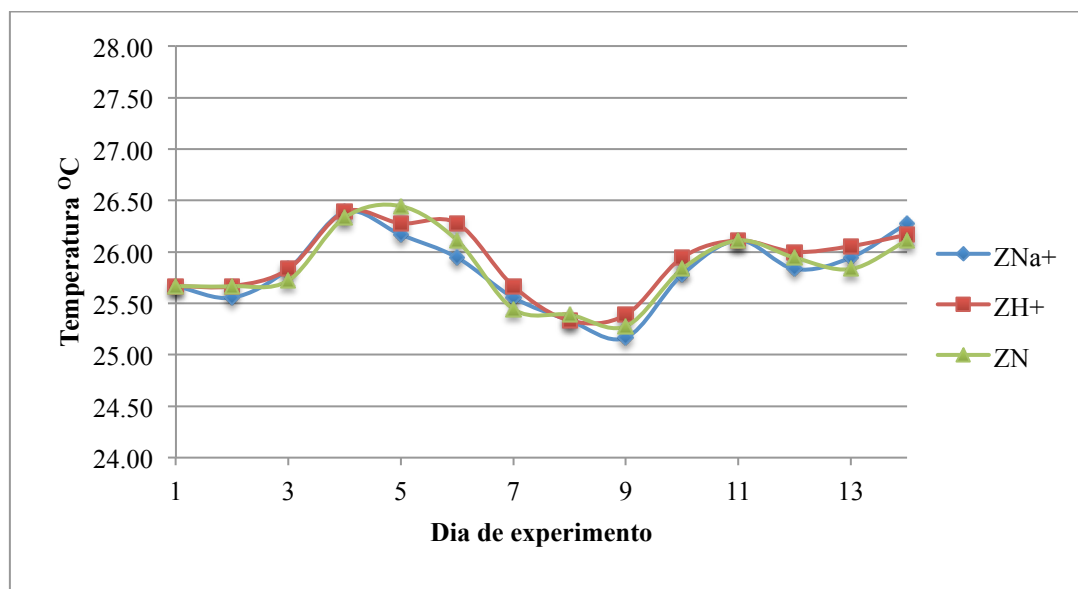


Figura 13: Variación diaria de la temperatura del agua por tratamiento (promedio, n = 3)

No hubo diferencia significativa entre los tratamientos, acorde con lo establecido en el anexo 7.

El pH promedio (figura 14) mostró una tendencia descendente a lo largo del experimento, empezando a existir diferencias entre los tratamientos a partir del segundo día.

El pH del tratamiento ZNa^+ fue el mayor desde el segundo día ($pH = 7.11$) hasta el octavo ($pH = 6.96$). A partir del décimo día el pH del tratamiento ZH^+ fue el mayor ($pH = 7.06$), obteniéndose el valor más alto en el día 12 ($pH = 7.14$). El pH del tratamiento ZN fue el más bajo a partir del día 7 ($pH = 6.99$) obteniendo su valor más bajo el último día ($pH = 6.87$).

Se atribuye el motivo de este comportamiento a la manipulación correctiva del filtro con tal de asegurar su funcionamiento, tal como se explicó en el punto 4.1.2. b (lo cual también explicaría el incremento de $N-NH_3$).

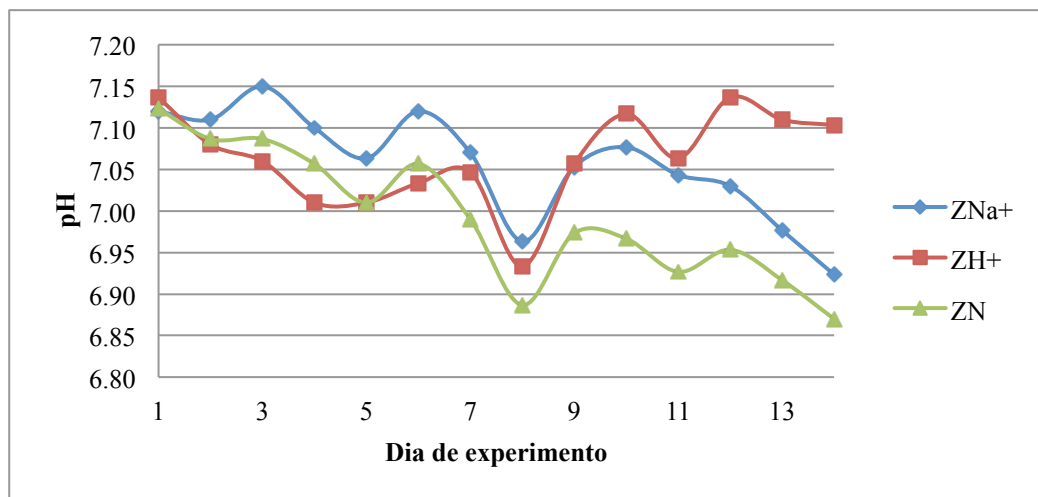


Figura 14: Variación diaria del pH del agua por tratamiento (promedio, n = 3)

Existe diferencia significativa entre el pH de la zeolita sódica con la descationizada y la natural, pero no entre la zeolita natural y la descationizada (anexo 8).

La conductividad eléctrica mostró incremento constante en todos los tratamientos, y fue relativamente uniforme a lo largo del experimento (figura 15). Los valores promedio de los tres tratamientos fueron de 31.92 $\mu\text{S}/\text{cm}$ al inicio del experimento y de 234.67 $\mu\text{S}/\text{cm}$ al final del mismo.

Este comportamiento de la conductividad eléctrica puede explicarse a que el único factor causante de la modificación de este parámetro fuese la adición de cloruro de amonio a las unidades experimentales.

Existe diferencia significativa entre la conductividad eléctrica de la zeolita sódica y la zeolita natural (anexo 9). Esto puede deberse a que el tratamiento para elaborar la zeolita sódica dejó una concentración de NaCl residual que elevó la conductividad eléctrica de la unidad experimental a la que fue aplicado.

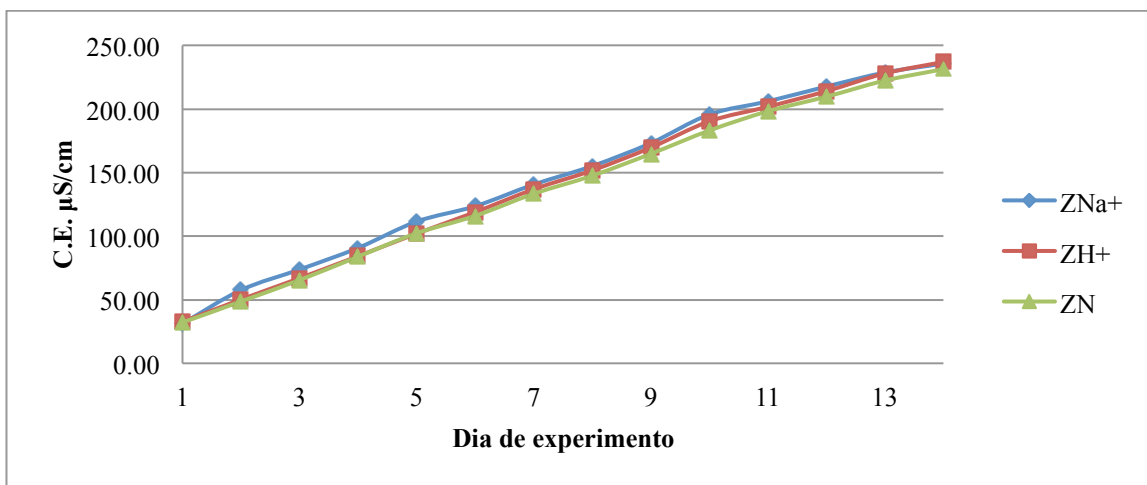


Figura 15: Variación diaria de la conductividad eléctrica del agua por tratamiento (promedio, n = 3)

El promedio de las concentraciones de sodio en ZH^+ (agua desionizada) y sin tratamiento (ZN), fueron similares (0.49 mg/l y 0.47 mg/l inicial y 5.30 mg/l y 5.77 mg/l final, respectivamente), y menores que el promedio del tratamiento ZNa^+ (0.44 mg/l inicial y 10.93 mg/l final) (figura 16)

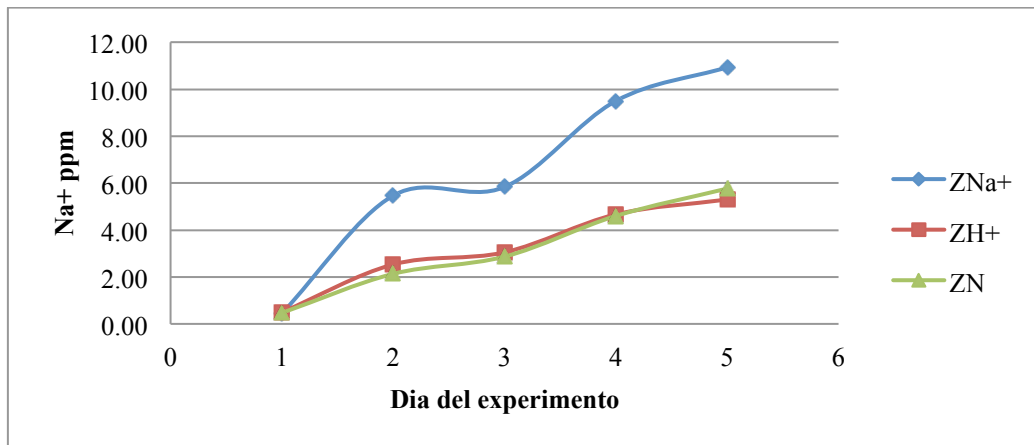


Figura 16: Variación diaria de la concentración de sodio en el agua por tratamiento (promedio, n = 3)

Hay diferencia significativa entre el tratamiento ZNa^+ y los tratamientos ZH^+ y ZN ; estos últimos no muestran diferencia significativa entre sí (anexo 10).

Después de realizar pruebas de relación lineal entre NAT, temperatura y pH, se determinó que no existe relación lineal en ninguno de los tres tratamientos.

Se hizo un análisis similar tanto con NH_3 como con NH_4 para cada tratamiento, y el resultado fue que tampoco existe relación lineal entre NH_4 y temperatura y pH. Se evidenció relación lineal entre la temperatura y NH_3 , pero no entre el pH y NH_3 .

4.2. Segunda etapa experimental

4.2.1. Concentración de N amoniacal total y sus formas disociadas

a. Nitrógeno amoniacal total, N-amoniaco y N-amonio

En la figura 17 se muestra que los tratamientos con filtros de zeolita sódica (ZNa^+), descationizada (ZH^+) y natural (ZN) presentaron un incremento constante de NAT durante todo el experimento, desde 0.2 mg/l al inicio hasta 0.6 mg/l al final. En cambio, el tratamiento control, el cual empezó con 0.2 mg/l empezó a diferenciarse desde el tercer día (con un valor de 0.53 mg/l) culminando con un valor final de 1.93 mg/l.

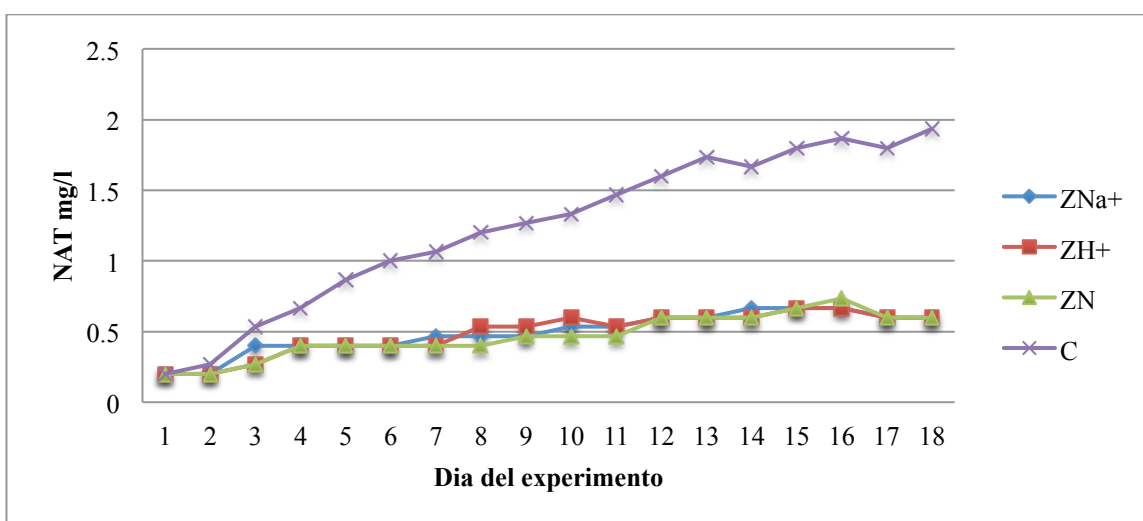


Figura 17: Variación diaria de la concentración de NAT por tratamiento (promedio, n = 3)

La figura 18 ilustra las curvas de variación de la concentración de $N-NH_3$ en las unidades experimentales, se observa que a partir del día 3 los tratamientos con filtros de zeolita ZH^+ y ZN poseen una concentración promedio de 0.0023 y 0.0020 mg/l respectivamente dando una concentración final promedio de 0.005 mg/l en ambos casos.

El tratamiento con zeolita ZNa^+ mostró una concentración de 0.0047 mg/l a partir del día 3, un máximo en el día 13 (0.01374 mg/l) y un final de 0.01094 mg/l.

El tratamiento control manifestó una concentración de 0.0046 mg/l a partir del día 3, un máximo en el día 16 (0.0175 mg/l) y un final de 0.0167 mg/l.

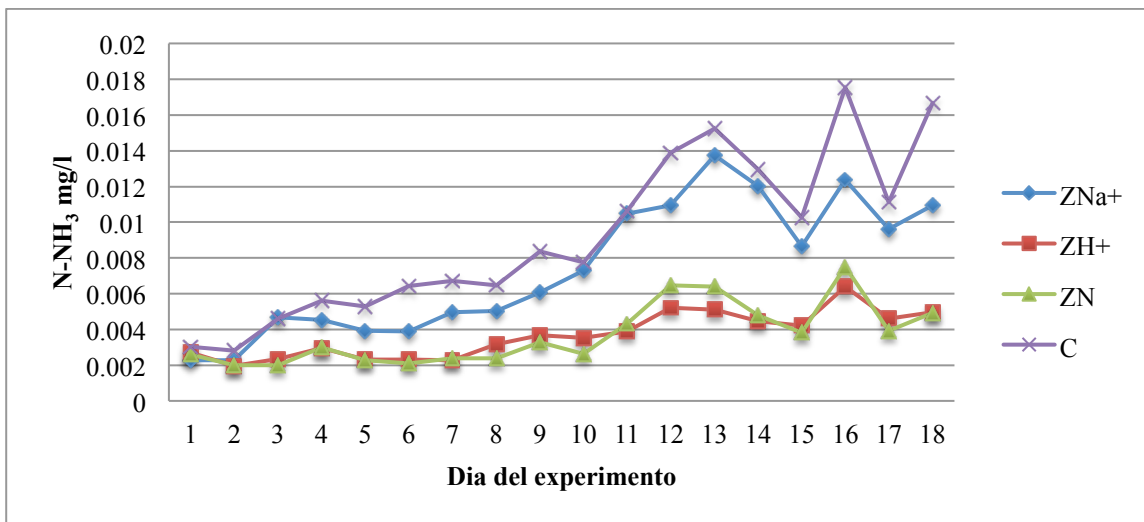


Figura 18: Variación diaria de la concentración de N-NH₃ por tratamiento (promedio, n = 3)

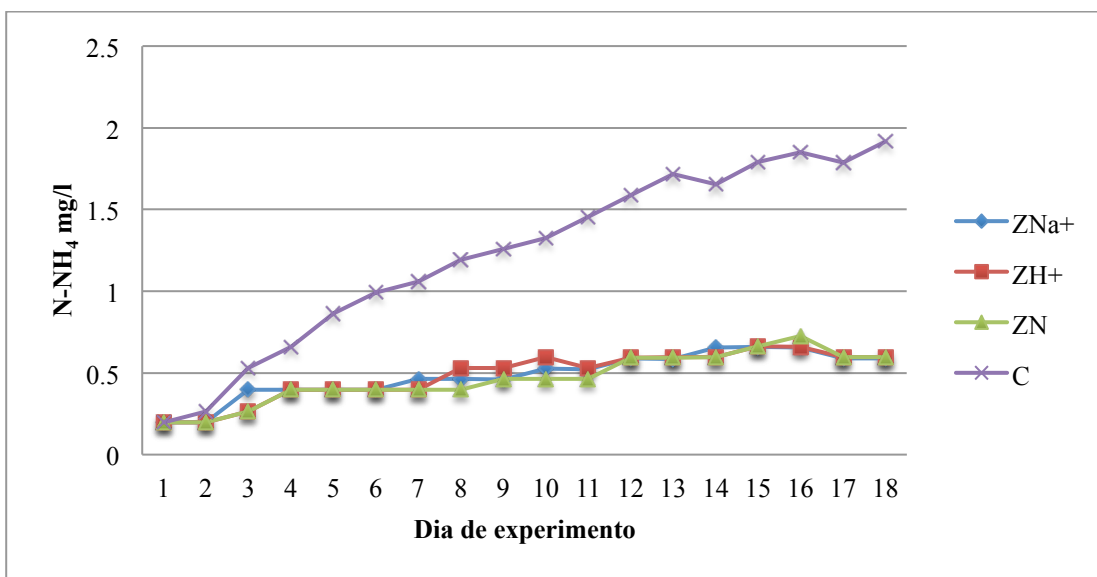


Figura 19: Variación diaria de la concentración de N-NH₄ por tratamiento (promedio, n = 3)

La concentración de N-NH₄ en los tratamientos (figura 19) manifestó la misma tendencia de variación que la concentración de NAT, con valores finales de 0.589 mg/l para ZNa⁺, 0.595 mg/l para ZH⁺, 0.595 para ZN y 1.917 para el control.

Un resumen de estos datos se puede apreciar en la tabla 18

La mayor concentración de NAT, N-NH₃ y N-NH₄⁺ presentes en el control se atribuye a la ausencia de filtro esquinero en las unidades experimentales. Sin sistema de filtración, no existe método de remoción de NAT del medio.

Tabla 18: Concentración de NAT, NH₃ y NH₄⁺ según tratamientos y control

Parámetro	Unidad		ZNa⁺	ZN	ZH⁺	C
NAT	mg/l	Inicial	0.20	0.20	0.20	0.20
		Final	0.60	0.60	0.60	1.93
		Máximo	0.67	0.73	0.67	1.93
		Mínimo	0.20	0.20	0.20	0.20
NH ₃	mg/l	Inicial	0.002	0.003	0.003	0.003
		Final	0.011	0.005	0.005	0.017
		Máximo	0.014	0.007	0.006	0.018
		Mínimo	0.002	0.002	0.002	0.003
NH ₄ ⁺	mg/l	Inicial	0.20	0.20	0.20	0.20
		Final	0.59	0.60	0.60	1.92
		Máximo	0.66	0.73	0.66	1.92
		Mínimo	0.20	0.20	0.20	0.20

Similar a la primera etapa, se realizaron los análisis estadísticos respectivos y se evidenció la existencia de diferencias significativas entre los tratamientos ZNa⁺, ZH⁺ y ZN y el control, mostrando este último un mayor nivel de NAT y N-NH₄ respecto a los tratamientos. Los tratamientos no mostraron diferencias significativas entre sí. Esto puede corroborarse al analizar las desviaciones estándar respectivas: estas fueron mayor al comparar cada tratamiento con el control y menores al comparar los tratamientos entre sí.

Existe diferencia significativa entre los tratamientos respecto a la cantidad de N-NH₃ presente en el medio. Los tratamientos ZNa⁺ y el control muestran un nivel mayor de N-NH₃ en el medio (lo cuales son similares entre sí) que los tratamientos con zeolita descationizada y natural (que a su vez también son similares entre sí).

En la tabla 19 se puede apreciar el resumen de la comparación de datos

Tabla 19: Comparación de la concentración de NAT, NH₃ y NH₄⁺ según tratamientos y control

Parámetro		des. Est.	P-VALOR	SIGNIFICANCIA
NAT	Tratamientos	0.38	0.00323	***
	Comparación ZNa ⁺ :ZH ⁺	0.02	0.4621866	n.s.
	Comparación ZNa ⁺ :ZN	0.02	0.5198891	n.s.
	Comparación ZNa ⁺ :C	0.53	0.00089	***
	Comparación ZH ⁺ :ZN	0.02	0.2441231	n.s.
	Comparación ZH ⁺ :C	0.53	0.00034	***
	Comparación ZN:C	0.54	0.00005	***
NH ₃	Tratamientos	0.009	0.008907	***
	Comparación ZNa ⁺ :ZH ⁺	0.000	0.01854812	**
	Comparación ZNa ⁺ :ZN	0.003	0.01144636	**
	Comparación ZNa ⁺ :C	0.003	0.4251189	n.s.
	Comparación ZH ⁺ :ZN	0.001	0.2837622	n.s.
	Comparación ZH ⁺ :C	0.000	0.01783099	**
	Comparación ZN:C	0.004	0.0079036	***
NH ₄ ⁺	Tratamientos	1.23	0.009787	***
	Comparación ZNa ⁺ :ZH ⁺	0.00	0.2267104	n.s.
	Comparación ZNa ⁺ :ZN	0.02	0.4683447	n.s.
	Comparación ZNa ⁺ :C	0.02	0.0007651	***
	Comparación ZH ⁺ :ZN	0.53	0.1852938	n.s.
	Comparación ZH ⁺ :C	0.02	0.0116351	**
	Comparación ZN:C	0.53	0.000933	***

b. Remoción de nitrógeno amoniacal total del medio

Los diferentes tratamientos (ZNa^+ , ZH^+ y ZN) mostraron similar remoción de NAT (figura 20) manifestando una tendencia ascendente con un valor máximo de 1.33 mg/l en los tres tratamientos al finalizar el experimento.

La remoción de NAT expresada en porcentaje (figura 21) mostró valores de 25% en los tres tratamientos el día 2. El día 3 tuvo un porcentaje de 25% para ZNa^+ y 50% para ZH^+ y ZN . El día 4 hubo un porcentaje de 40% para los tres tratamientos, el día 5 de 53.85% y el día 6 de 60%. Para el día 7 los valores fueron de 56.25% para ZNa^+ y 62.50% para ZH^+ y ZN . El último día los valores fueron de 68.97% para los tres tratamientos, siendo este a su vez los valores máximos registrados.

La remoción de NAT por gramo de zeolita (figura 22) mostró un comportamiento muy similar a la remoción de NAT a lo largo del experimento. Los valores finales fueron de 0.014 mg/g de zeolita para los tres tratamientos.

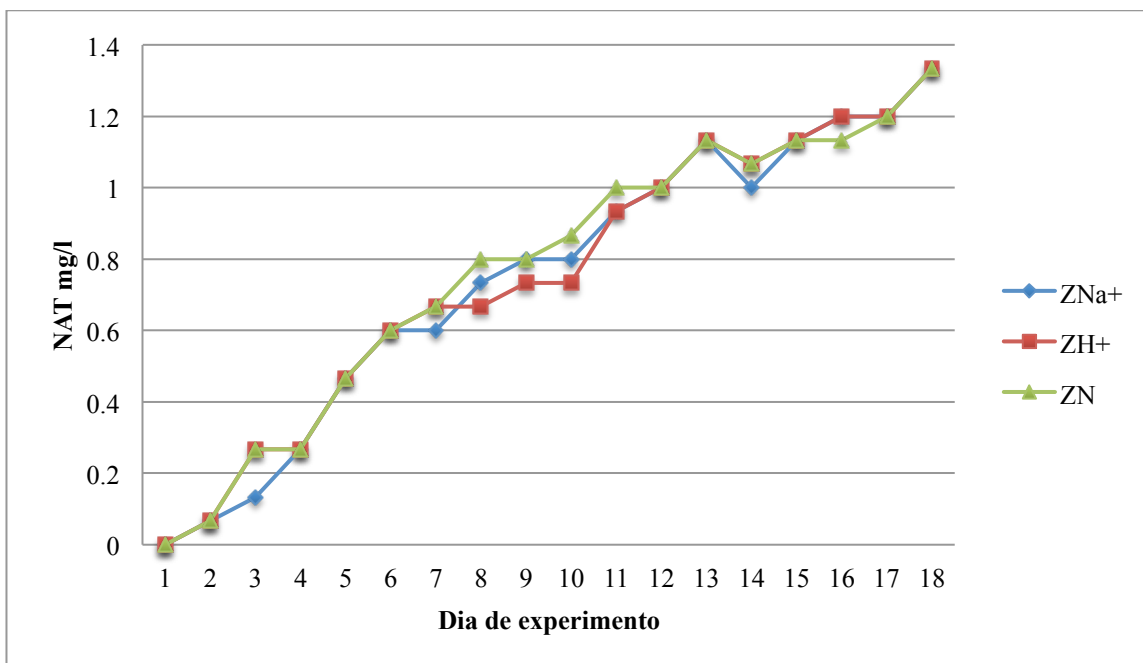


Figura 20: Variación diaria de la remoción de NAT del agua por tratamiento (promedio, n = 3)

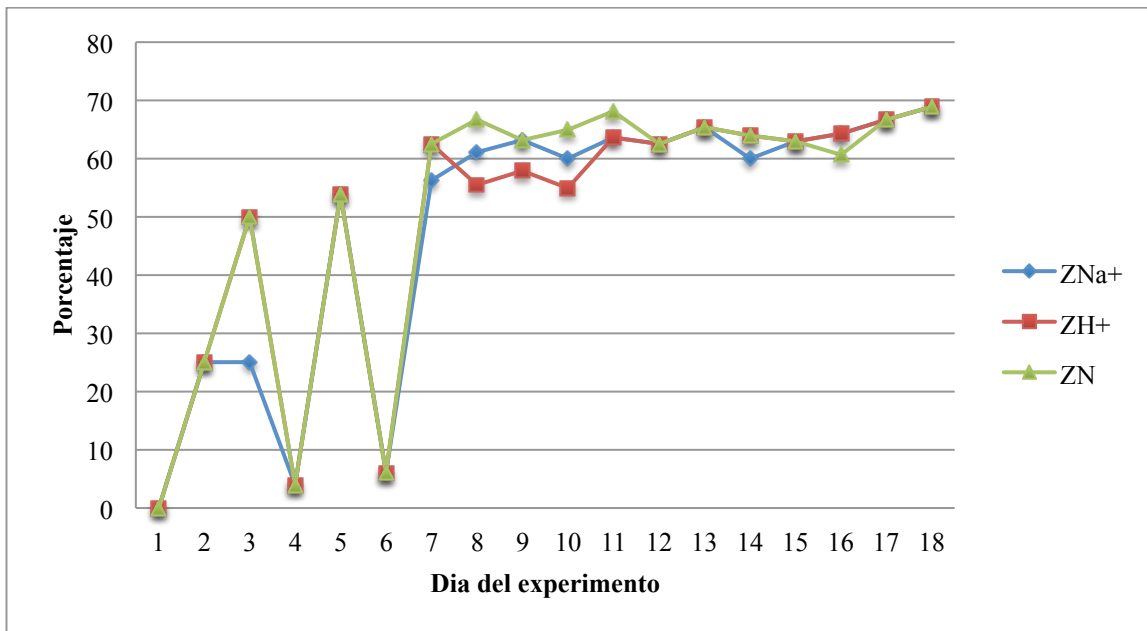


Figura 21: Variación diaria del porcentaje de remoción de NAT por tratamiento (promedio, n = 3)

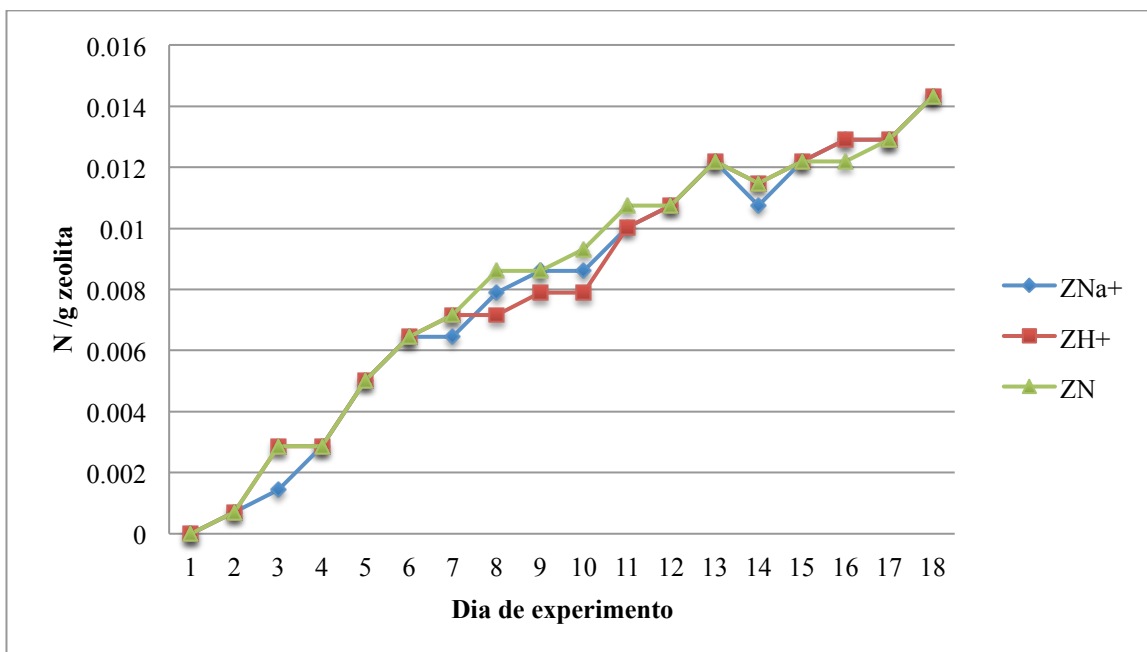


Figura 22: Variación diaria de la remoción de NAT por gramo de zeolita por tratamiento (promedio, n = 3)

El resumen de los datos se puede apreciar en la tabla 20 y los datos generales en el anexo 11.

Tabla 20: Remocion de NAT, NH₃ y NH₄⁺ según tratamientos

Parámetro		ZNa⁺	ZN	ZH⁺
Remocion de NAT (mg/l)	Inicial	0.00	0.00	0.00
	Final	1.33	1.33	1.33
	Máximo	1.33	1.33	1.33
	Mínimo	0.00	0.00	0.00
Porcentaje de remocion de NAT	Inicial	0.00	0.00	0.00
	Final	68.97	68.97	68.97
	Máximo	68.97	68.97	68.97
	Mínimo	0.00	0.00	0.00
Remocion de NAT (mg/L) por gramo de zeolita	Inicial	0.00	0.00	0.00
	Final	0.01	0.01	0.01
	Máximo	0.01	0.01	0.01
	Mínimo	0.00	0.00	0.00

El análisis estadístico demostró que no existe diferencia significativa entre los tratamientos ZNa⁺, ZH⁺ y ZN tanto para la remoción de NAT, el porcentaje de remoción de NAT y la remoción por gramo. Las desviaciones estadísticas respectivas fueron muy similares entre los tratamientos (tabla 21)

Tabla 21: comparación de remoción de NAT, NH₃ y NH₄⁺ por tratamientos

Parámetro		des. Est.	P-VALOR	SIGNIFICANCIA
Remoción de NAT (mg/l)	Tratamientos	0.02	0.6222523	n.s.
	Comparación ZNa ⁺ :ZH ⁺	0.02	0.6319704	n.s.
	Comparación ZNa ⁺ :ZN	0.02	0.5745672	n.s.
	Comparación ZH ⁺ :ZN	0.02	0.4079896	n.s.
Porcentaje de remoción de NAT	Tratamientos	2.15	0.4415722	n.s.
	Comparación ZNa ⁺ :ZH ⁺	2.01	0.4641036	n.s.
	Comparación ZNa ⁺ :ZN	2.12	0.5096794	n.s.
	Comparación ZH ⁺ :ZN	1.35	0.2681147	n.s.
Remoción de NAT (mg/l) por gramo de zeolita	Tratamientos	0.00	0.5381786	n.s.
	Comparación ZNa ⁺ :ZH ⁺	0.00	0.5968564	n.s.
	Comparación ZNa ⁺ :ZN	0.00	0.4933095	n.s.
	Comparación ZH ⁺ :ZN	0.00	0.3401594	n.s.

Los resultados en esta parte coinciden con el trabajo de Aguilar (2014), en el hecho que no hay diferencia significativa en la remoción de amonio del medio, en la eficiencia y porcentaje de remoción de amonio del medio acuático, esto evidenciando que los diferentes niveles de salinidad del agua. no influye en la capacidad de la zeolita de remover nitrógeno amoniacal total del medio.

En cambio los trabajos de Chiayvareesajja y Boyd (1993) señalan una pérdida de capacidad de adsorción a medida que la concentración de sólidos disueltos (en el experimento dureza) aumenta. A su vez, el trabajo de Emadi (2001) señala que el aumento de la salinidad en el medio conlleva a una pérdida en la capacidad de adsorción de nitrógeno. Sin embargo, en este último trabajo es de mencionar que el nivel de concentración final en el medio es muy superior (los tratamientos fueron de 10000, 20000 y 30000 mg/l). En el presente experimento, la concentración más alta fue de 33 mg/l. Es posible que la baja concentración de iones de sodio disueltos en el medio fuese muy baja como para producir algún tipo de interferencia en la adsorción de NAT.

Cabe resaltar que en la primera etapa experimental, ha diferencia de la segunda, sí hubo diferencia significativa entre los tratamientos respecto a la adsorción de NAT. Esto pudo deberse a la baja cantidad de zeolita utilizada (31g por unidad experimental), lo cual pudo generar un margen de error considerable al realizar el proceso de adsorción de NAT.

Acorde con el trabajo de Chiayvareesajja y Boyd (1993), al tener la proporción de 1 gramo por litro de zeolita se obtiene un porcentaje de remoción de 90%. En el presenta trabajo, se obtuvo un porcentaje de remoción de 34.59% promedio máxima en el quinto día y un porcentaje final promedio de 14.53% en la primera etapa; y un porcentaje máximo (y final) de 68.97% en la segunda etapa. En la segunda etapa el porcentaje de remoción de NAT se mantuvo en promedio superando el 60%. Y según el trabajo anteriormente mencionado, un porcentaje de remoción de 60% es el porcentaje mínimo apropiado para la remoción de NAT en un sistema acuático

4.2.2. Prueba de comparación de medias entre tratamientos

Similar a lo realizado en la primera etapa, se analizaron los promedios de los datos (con la finalidad de determinar la existencia de diferencias significativas entre los tratamientos (tabla 18)

El nivel de significancia utilizado fue de $\alpha = 0.05$.

Existe diferencia significativa entre las cantidades de NAT y amonio disuelto en el agua. entre los tratamientos y el control. En ambos casos, el control mostró una mayor nivel de NAT y amonio respecto de los tratamientos. No se evidenció diferencia significativa entre los tratamientos restantes ZNa^+ , ZH^+ y ZN .

Existe diferencia significativa entre los tratamientos respecto a la cantidad de N-NH₃ presente en el medio. Los tratamientos ZNa⁺ y control muestran un nivel mayor de N-NH₃ en el medio que los tratamientos con zeolita descationizada y natural.

Se observó que no existe diferencia significativa entre los mismos tanto para la remoción de NAT, el porcentaje de remoción y la remoción por gramo.

4.2.3. Promedio de los parámetros de calidad de agua

Similar a la primera parte, se analizó si existe diferencia significativa en la concentración de NAT, N-NH₃ y N-NH₄ en los diferentes tratamientos aplicados, así como la remoción de NAT en los mismos y los parámetros de temperatura, pH, conductividad eléctrica y concentración de sodio (tabla 22).

Tabla 22: Parámetros de la calidad de agua por tratamientos

	ZNa ⁺	ZH ⁺	ZN	Control (C)
Temperatura (°C)	25.14 ± 0.48	25.20 ± 0.44	25.25 ± 0.68	25.64 ± 0.53
pH	7.37 ± 0.11	7.10 ± 0.10	7.21 ± 0.09	7.09 ± 0.10
Conductividad eléctrica (µS/cm)	221.24 ± 2.18	70.58 ± 5.79	78.30 ± 5.94	73.01 ± 6.46
Sodio	25.36 ± 2.18	3.73 ± 0.96	4.35 ± 1.14	2.28 ± 1.13

4.2.4. Determinación de temperatura, pH, conductividad eléctrica e iones Na^+

La temperatura promedio diaria varió dentro de un rango de 2.73 grados centígrados a lo largo del experimento (figura 23), con un máximo de $26.91\text{ }^\circ\text{C}$ en el día 1 por el control en la mañana y un mínimo de $24.18\text{ }^\circ\text{C}$ en el día 6 por el tratamiento ZN también por la mañana. No hubo diferencia significativa entre los tratamientos y el control (anexo 14).

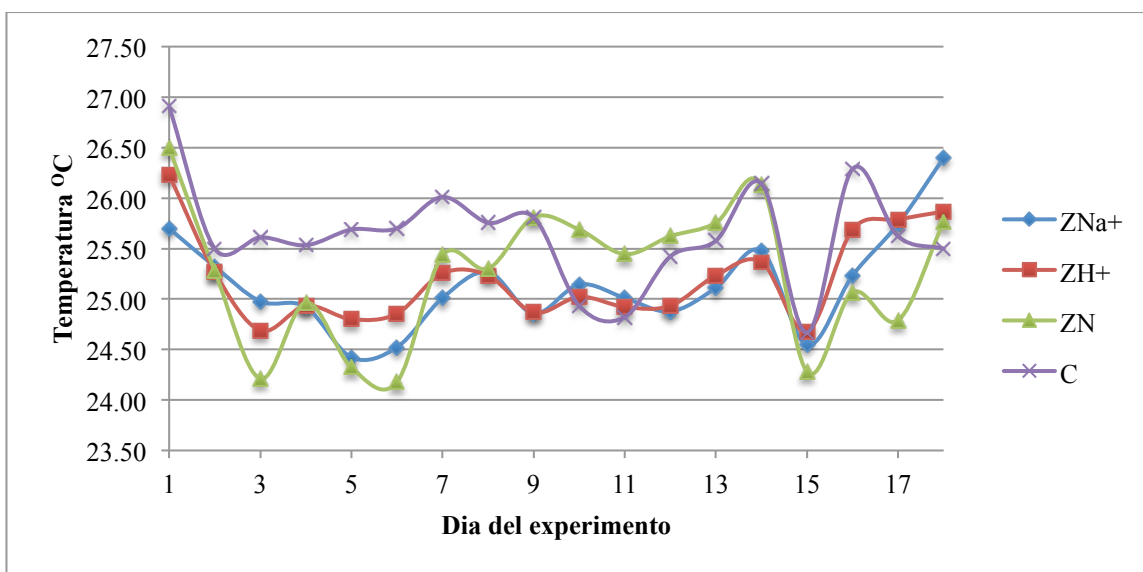


Figura 23: Variación diaria de la temperatura del agua por tratamiento (promedio, n = 3)

El rango de temperatura apropiado para el neón tetra es de un rango de $24\text{ a }26\text{ }^\circ\text{C}$, según lo establecido en el punto 2.6 del presente trabajo. Aunque los resultados muestran una temperatura superior a este rango, autores como Palacios Huerta (2014) y Vargas Rojas (2015) señalaron en sus trabajos rangos de $21\text{--}28\text{ }^\circ\text{C}$ y $28\text{--}30\text{ }^\circ\text{C}$ respectivamente. Por tanto, la temperatura estuvo dentro del rango aceptable para la especie.

Existe diferencia significativa en el pH entre los tratamientos, siendo ZNa^+ diferente a los tratamientos ZH^+ , ZN y control, los cuales no mostraron diferencia significativa entre sí (anexo 15).

Se pudo evidenciar tres tendencias marcadas a lo largo del experimento. El tratamiento de ZNa^+ fue el que tuvo el menor pH inicial (7.25), pero a partir del segundo día fue el mayor de todos con 7.26, con el punto más alto en el día 13 (7.59) y un valor de 7.45 al finalizar el experimento.

El tratamiento ZN mostro un valor inicial de 7.31 , su valor más alto fue de 7.35 en el día 13 y un valor final de 7.24.

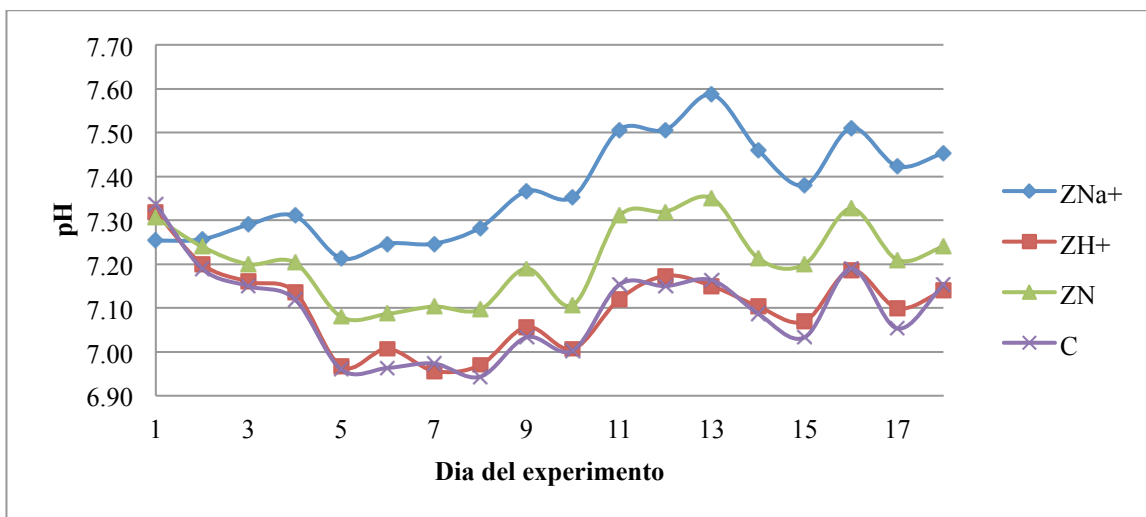


Figura 24: Variación diaria del pH del agua por tratamiento (promedios, n = 3)

Los tratamientos ZH^+ y control mostraron valores iniciales de 7.32 y 7.34 respectivamente, los cuales fueron también los más altos. El valor más bajo para ZH^+ fue de 6.96 en el día 7 y el del control 6.94 en el día 8. El valor final de ZH^+ fue de 7.14 y el del control 7.15.

A pesar de existir gráficamente un comportamiento diferente entre ZN y el grupo de ZH^+ y control, no se evidenció diferencia entre los tres tratamiento.

El comportamiento similar respecto al pH entre ZH^+ y el control puede explicarse al hecho que el agua de baja conductividad ya de por sí presenta en promedio un pH menor a 7 (como se pudo comprobar a lo largo de la fase experimental). Las unidades control no tienen ningún agente que altere significativamente el pH exceptuando el alimento introducido a las mismas y

los procesos biológicos de los peces. Las unidades con zeolita descationizada tienen un comportamiento similar, debido a que poseen una zeolita sin iones activos salvo H^+ .

Existe diferencia significativa en la conductividad entre los tratamientos, siendo la conductividad eléctrica mayor en el tratamiento ZNa^+ (anexo 16). Con excepción del primer día (63.70 $\mu S/cm$), este tratamiento tuvo una conductividad eléctrica promedio de 224 $\mu S/cm$ a lo largo del experimento.

Los otros tratamientos y el control no mostraron diferencia significativa entre sí. Esto se evidencia en el comportamiento similar que manifestaron, empezando desde 60.77, 67.00 y 60.03 $\mu S/cm$ y culminando en 80.50, 89.20 y 83.40 $\mu S/cm$ para ZH^+ , ZN y el control, respectivamente (figura 25).

Respecto a los niveles de sodio presentes en el agua, el tratamiento ZNa^+ mostró diferencia significativa respecto a los demás tratamientos. El resto de tratamientos y el control no mostraron diferencia significativa entre sí (anexo 17).

Los niveles de sodio fueron similares en el primer día (2.39, 2.12, 2.55 y 2.02 mg/l para ZNa^+ , ZH^+ , ZN y control). A partir de los siguientes días, el tratamiento ZNa^+ manifestó un ascenso notorio seguido de un comportamiento oscilante, siendo el más alto valor de 33.00 mg/l y el valor final de 28.33 mg/l. En el caso de los demás tratamientos y el control, hubo un ascenso muy ligero, comenzando con valores de 2.12, 2.55 y 2.02 mg/l y culminando con 4.87, 5.40 y 3.43 mg/l para ZH^+ , ZN y control respectivamente.

Y a diferencia de la primera etapa, en esta la concentración de iones sodio fue mucho mayor. Entre los factores que pudieron influir en este cambio fueron no realizar el enjuague previo (permitiendo retener más iones dentro de la zeolita) y el utilizar más zeolita en cada filtro (93 gramos por filtro a comparación de los 31 de la primera etapa).

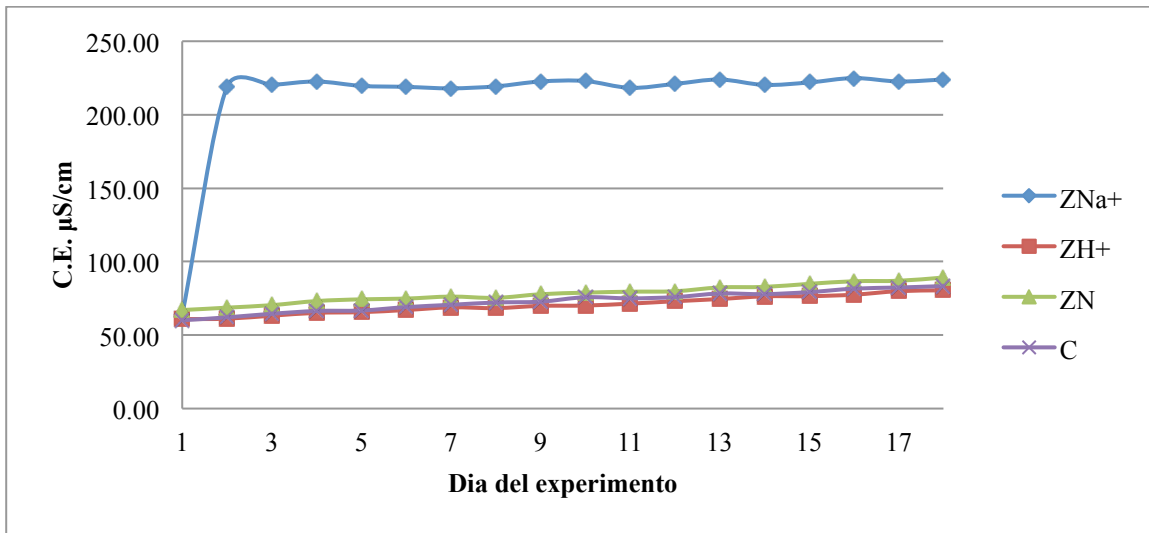


Figura 25: Variación diaria de la conductividad eléctrica del agua por tratamiento (promedios, n = 3)

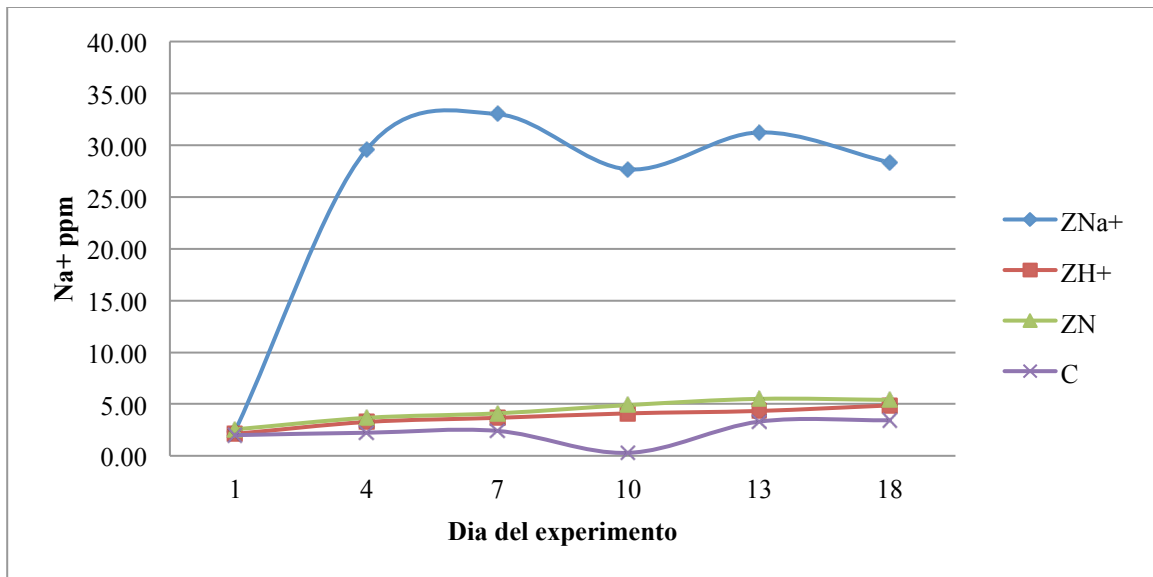


Figura 26: Variación diaria del nivel de sodio del agua por tratamiento (promedios, n = 3)

Tanto ZH^+ , ZN y el control mostraron similar conductividad eléctrica durante el período experimental. Sin embargo, el tratamiento ZN mostró mayor pH que ZH^+ y control, que tuvieron pH similar. Esto se debió a los iones presentes en la zeolita sin tratamiento sí influyen en el pH del medio (por ejemplo el sodio), lo cual se puede apreciar claramente en la zeolita sódica (Song *et. al.* 2015 pudieron evidenciar que el intercambio de iones sodio entre la zeolita y el medio originaba como resultado un incremento de pH total del medio). Adicionalmente el incremento menor pero constante de los niveles de conductividad eléctrica en las unidades experimentales pudo deberse a la adición de alimento y las excretas de los peces.

El incremento de zeolita por unidad experimental también tuvo como efecto el incremento del porcentaje de remoción de zeolita del medio y la reducción de la remoción por gramo de la zeolita, corroborando lo señalado por Chiayvareesajja y Boyd (1993) y Sonnenholzner (2004).

La mayor concentración de NH_3 en los controles se debe a que estos no poseen un filtro que remueva el NAT del medio (implicando mayor presencia NH_3). Y la elevada concentración de NH_3 en la zeolita sódica puede explicarse a que este tratamiento fue el que poseyó mayor pH.

A diferencia de la primera etapa, no existió diferencia significativa entre los tratamientos respecto a remoción de NAT, porcentaje de remoción de NAT y remoción de NAT por gramo de zeolita.

Después de realizar pruebas de relación lineal entre NAT, temperatura y pH (anexo 18), se determinó que no existe este tipo de relación en ninguno de los tratamientos, con excepción del tratamiento ZNa^+ que muestra relación lineal entre remoción de NAT y pH.

Se hizo un análisis similar tanto con NH_3 como con NH_4 para cada tratamiento, y el resultado fue similar a NAT en NH_4 . NH_3 no presentó relación lineal en ninguno de los dos factores.

4.2.5. Oxígeno disuelto en el agua

Los resultados de la concentración de oxígeno disuelto promedio en las unidades experimentales fluctuaron en un rango de 0.83 mg/l. Los valores fueron disminuyendo hacia el final del experimento de forma similar en todos los tratamientos, con valores menores a 7.50 mg/l (figura 27).

Esta variación puede estar relacionada al ligero incremento de la biomasa, sin embargo la concentración de oxígeno fue superior a 5 mg/l, considerado como mínimo por Masser et. al (1992).

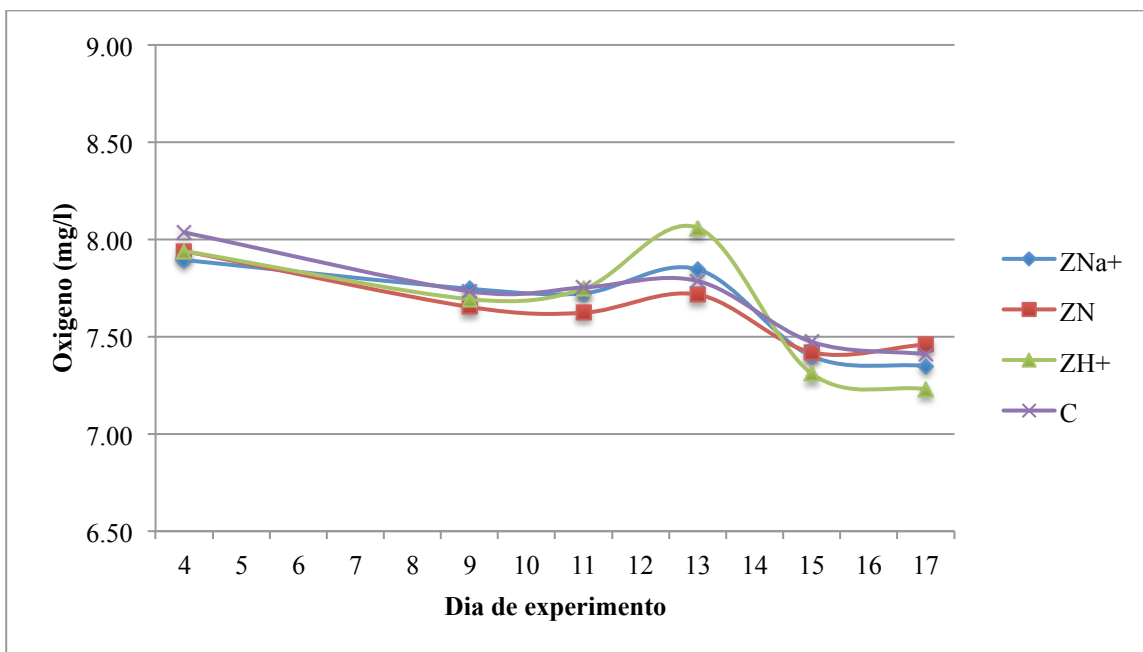


Figura 27: Variación diaria de los valores promedio de nivel de oxígeno en el agua

4.2.6. Nitratos

El promedio inicial de nitrato en el agua fue de 0.3 mg/l, y el promedio final de los tratamientos fueron de 0.47 mg/l para el tratamiento ZNa^+ , de 0.5 mg/l para ZH^+ , 0.47 mg/l para ZN y 0.57 mg/l para el control (figura 28).

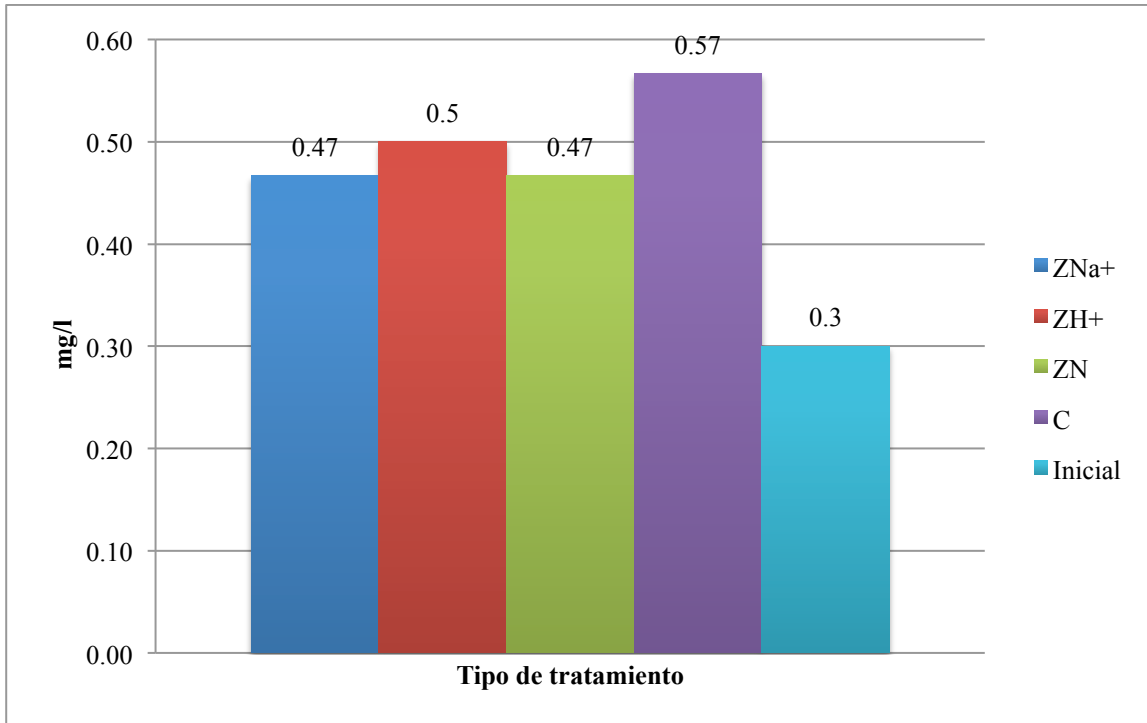


Figura 28: Concentración de nitrato presente en el agua

Se puede apreciar que los niveles de nitrato aumentaron respecto al inicial, habiendo mayor presencia en los controles. Esto puede significar presencia de nitrificación en el medio.

Sin embargo, el poco aumento de este en el medio, la elevada cantidad de NAT (la cual mantuvo una tendencia ascendente constante) y la corta duración de la segunda etapa (18 días) señala que el proceso de nitrificación fue muy bajo, y no pudo haber generado algún efecto perceptible en el experimento.

No existe diferencia significativa en la remoción de NAT entre tratamientos. Por lo tanto, no hay suficiente evidencia para rechazar H_0 .

4.2.7. Crecimiento y supervivencia de peces

Hubo un incremento en las longitudes y pesos unitarios de los peces utilizados en el experimento, en la tabla 23 se pueden apreciar estas diferencias.

Tabla 23: Resultados de crecimiento y supervivencia de *P. Innesi* por tratamientos y control

	ZNa ⁺	ZH ⁺	ZN	Control
Longitud inicial (cm)	1.68	1.68	1.68	1.68
Longitud final (cm)	1.6833 ± 0.09	1.7433 ± 0.05	1.7167 ± 0.06	1.7233 ± 0.04
Incremento de longitud	0.0033	0.0633	0.0367	0.0433
Peso inicial (g)	0.0545	0.0545	0.0545	0.0545
Peso final (g)	0.0568 ± 0.002	0.0666 ± 0.008	0.0599 ± 0.005	0.0581 ± 0.003
Incremento de peso	0.0023	0.0121	0.0054	0.0036
Supervivencia (%)	92	91	98	95

Debido a la poca duración del experimento, así como al aumento en pequeñas cantidades de longitud y peso, no se consideró significativo el crecimiento como parámetro a analizar. Sin embargo, el hecho de existir crecimiento señala adaptación apropiada a los medios.

Hubo un cambio brusco de ambiente entre las condiciones de agua finales de la aclimatación (pH 6.74, conductividad eléctrica de 58.8 µS/cm) y las unidades experimentales de zeolita sódica (pH promedio de 7.37 y conductividad eléctrica promedio de 221.24 µS/cm). Sin

embargo, no se apreció efecto alguno en la tasa de mortalidad concurrida durante el experimento atribuible a este cambio. Por tanto, la mortalidad del primer día se atribuye al manipuleo.

Adicionalmente, el análisis estadístico realizado demostró que no existen diferencia significativa entre los tratamientos respecto a la supervivencia (Tabla 24). Parte de la mortalidad de los peces posterior al primer día puede ser atribuida al nado accidental hacia los filtros, ya que se encontraron peces muertos dentro de estos en algunas unidades experimentales: 2 peces dentro del filtro de la unidad ZNa^+_1 , uno dentro de C_2 (control), uno dentro de ZNa^+_2 y 6 dentro de ZH^+_2 (ver anexo 23).

Tabla 24: Comparación de medias de la supervivencia de los tratamientos

	P-VALOR	SIGNIFICANCIA
Tratamientos	0.682	n.s.
Comparación $ZNa^+ : ZH^+$	0.9995	n.s.
Comparación $ZNa^+ : ZN$	0.7618	n.s.
Comparación $ZNa^+ : C$	0.9447	n.s.
Comparación $ZH^+ : ZN$	0.7026	n.s.
Comparación $ZH^+ : C$	0.9103	n.s.
Comparación $ZN : C$	0.9702	n.s.

V. CONCLUSIONES

La zeolita clinoptilolita muestra similar capacidad de remoción de NAT del agua en los tratamientos utilizados en el experimento (zeolita sódica, zeolita descationizada) y similar eficiencia al realizar la remoción de la misma. El tratamiento no ejerce efecto alguno en la capacidad de remoción de NAT del medio.

Se determinó que los diferentes tratamientos de zeolita ejercen un efecto distinto en el pH, conductividad eléctrica y concentración de iones sodio del medio. Los mayores valores de estos parámetros se evidenciaron en el tratamiento de zeolita sódica (ZNa^+), mientras que los menores fueron en el tratamiento ZH^+ .

No se evidencian diferencias significativas entre los tratamientos con respecto al porcentaje de supervivencia de la especie neón tetra.

VI. RECOMENDACIONES

Se recomienda evaluar si en un periodo de tiempo mayor puede darse un proceso de nitrificación relevante que pueda competir con la zeolita en la remoción de NAT del medio.

Se recomienda evaluar las cantidades requeridas de zeolita para realizar un correcto proceso de remoción de NAT en sistemas de peces ornamentales. Esto debido a que en el experimento no se llegó a los niveles máximos permitidos de NAT, posiblemente por el volumen de material zeolítico utilizado.

Optimizar el sistema de filtración utilizado para evitar la mortalidad por nado accidental de los peces al filtro

Determinar el tiempo en el cual se llega a la saturación de la zeolita bajo las condiciones de cultivo, para poder establecer un patrón de capacidad de remoción de la misma por densidad de especie de cultivo y tiempo de duración de los filtros antes de requerir recambio/renovación del componente zeolítico.

VII. BIBLIOGRAFIA

- Aguilar, V. (2014). *Efecto de la salinidad en la tasa de reducción de amonio aplicando zeolitas comerciales* (en línea). Tesis Ing. Acui. Machala, Ecuador Universidad Técnica de Machala. 120 p. Consultado 19 set. 2016. http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/1999/7/CD675_TESIS.pdf
- Aquarium Industries. (2009). *Care sheet: agassizi's dwarf child, Apistogramma agassizi* (en línea). Australia. Revisado 17 may. 2017. <http://www.aquariumindustries.com.au>
- Bosch, P y Schifter, I. (1997). *La zeolita una piedra que hierve* (en línea, libro). 2 ed. Farias, M (coord.) México D.F, México. Fondo de cultura económica. 66 p. Consultado 9 set. 2016. <http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/55/htm/zeolita.htm>
- Campos Baca, L. (2006). *Peces ornamentales en la amazonia peruana* (en línea). *In WWF, Colombia. Memorias Taller internacional Aspectos socioeconómicos y de manejo sostenible del comercio internacional de peces ornamentales de agua dulce en el norte de Sudamérica: retos y perspectivas*. Bogotá D.C., Colombia. p. 17- 18. Consultado 20 ene. 2017. <http://www.promamazonia.org.pe>
- Carrera, J. (2001). *Eliminación biológica del nitrógeno en un efluente con alta carga: estudio de los parámetros del proceso y diseño de una depuradora industrial* (en línea, tesis). Tesis Ph. D. Barcelona, España. Universidad Autónoma de Barcelona, Departamento de Ingeniería Química. 202 p. Consultado 12 nov. 2016. <http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/5299/jcm1de1.pdf?sequence=1>

- Chiayvareessajja, S y Boyd, C. (1993). *Effects of zeolite, formalin, bacterial augmentation, and aeration on total ammonia nitrogen concentrations*. Alabama, USA. (en línea) *Aquaculture* 116: 33-45. Consultado 12 nov. 2016. https://www.researchgate.net/publication/248339860_Effects_of_zeolite_formalin_bacterial_augmentation_and_aeration_on_total_ammonia_nitrogen_concentrations
- Chuquipiondo, C. (2013). *Alternativas de producción de peces ornamentales en la amazonia peruana* (en línea). Iquitos, Perú. Stingray Aquarium S.A.C;. 5 p. Consultado 17 jun. 2017. <http://www.promamazonia.org.pe>
- Claros, J. (2012). *Estudio del proceso de nitrificación y desnitrificación vía nitrito para el tratamiento biológico de corrientes de agua residual con alta carga de nitrógeno amoniacal* (en línea). Tesis Ph. D. Valencia, España. Aguado, D; Ferrer, J (dir.). Universidad Politécnica de Valencia, Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente. 230 p. Consultado 17 dic. 2016.: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/17653/tesisUPV3951.pdf?sequence=1>
- CATC (Clean Air Technology Center). 1999. Zeolita un adsorbente versátil de contaminantes del aire (en línea). Carolina del Norte, EE.UU. Boletín Técnico EPA 456/F-99-003; U.S. Environmental Protection Agency. 12 p. Consultado 9 set. 2016. <https://www3.epa.gov/ttnecatc1/cica/files/zeolits2.pdf>
- Corona, OL; Hernández, MA., Hernández, F., Rojas, F., Portillo, R., Lara, VH. y Carlos, FM. 2009. *Propiedades de adsorción en zeolitas con anillos de 8 miembros I. Microporosidad y superficie externa*. *Matéria*, 14(3): 918 – 931.
- Correa, E y Ortega, H. (2010). *Diversidad y variación estacional de peces en la cuenca baja del río Nanay, Perú. Fishes species diversity and seasonal variation in the lower basin of Nanay River, Peru*. *Revista Peruana de biología*. 17(1): 37-42.

Costafrada Mustelier, JL., Martín Sanchez, DA., Costafrada Velázquez, JL., Prado Govea, R., Iván Tobón, J., Álvarez Gutiérrez, Y., Bello Vásquez, LA., Vattuone, ME., Florencia Gargiulo, María., Crosta, S., Rodrigo Leal, P., Rosell Lam, MB., Magalhaes Baltar, CA., Da Luz, AB., Morante Carballo, FE., Novo Fernandez, R., Gajardo Cubillos, A. y Carrasco Olguín, R. (2018). *Las zeolitas naturales de Iberoamérica* (en línea). Madrid, España. Fundación Gomez-Pardo. 343 p. Consultado 22 octubre 2020. http://oa.upm.es/50683/1/zeolitas_naturales_Iberoamerica_2018.pdf

Cuchimaque Lugo, C., Vargas Fiallo, LY. y Rios Reyes, CA. (2012). *Remoción de Fe y Mn en aguas naturales por adsorción-oxidación sobre clinoptilolita* (en línea). Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia. 66. Consultado 9 set. 2016. <http://www.scielo.org.co>

Curkovic, L y Cerjan-Stefanovic, S. (1996). Metal Ion Exchange by Natural and Modified Zeolites.. *Water Research* 31(6): 1379-1382.

Dias, J., Huelvan, C., Dinis, MT y Metailler, R. (1998). *Influence of dietary bulk agents (silica, cellulose and a natural zeolite) on protein digestibility, growth, feed intake and feed transit time in european seabass (Dicentrarchus labrax) juveniles.* *Aquatic Living Resources* 11(4): 219-226.

Dowd, S. (2003). *Observations on the Cardinal Tetra (Paracheirodon axelrodi) Ornamental Fishery with an Emphasis on Assessments of Stress* (en línea). Tesis Ms. Sc. Stirling, Escocia. Institute of Aquaculture. University of Stirling. 89 p. Consultado 16 nov. 2017. <http://projectpiaba.org/wp-content/uploads/2014/01/Scott-Dowd-Thesis-2003.pdf>

Duarte, RM., Ferreira, MS., Wood, CM y Val, AL. (2013). *Effect of low pH exposure on Na⁺ regulation in two cichlidfish species of the Amazon. Comparative Biochemistry and Physiology, Part A.* 441 – 448.

- Duarte Valencia, EA y Vizcaíno Sanchez, CM. (2015). *Estudio comparativo entre la implementación de la zeolita y la resina de intercambio iónico en la remoción de hierro y dureza en un agua sintética que simula el agua para uso industrial* (en línea). Trabajo de grado ing. Amb. y Sanit. Bogotá D. C; Colombia. Balda Ayala, RR (dir.). Universidad de La Salle, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria. 131 p. Consultado 16 ago. 2016. <http://repository.lasalle.edu.co>
- Emadi, H., Nezhad, JE., y Pourbagher, H. (2001). *In vitro comparison of zeolite (clinoptilolite) and activated carbon as ammonia absorbants in fish culture*. s.l. Naga, The ICLARM Quarterly (Institute Center for Living Aquatic Resources Management). 24 (1,2):18-20.
- Endo, M., Yoshikawa, E., Muramatsu, N., Takizawa, N., Kawai, T., Unuma, H., Sasaki, A., Masano, A., Takeyama, Y., y Kahara, T. (2013). *The removal of cesium ion with natural Itaya zeolite and the ion exchange characteristics*. Journal of Chemical Technology and Biotechnology. 88(9): 1597–1602.
- Espinoza Espinal, MC. (2002). *Efecto del mineral natural zeolita (clinoptilolita) en niveles de inclusión del 5 y 10% del alimento peletizado para camarones juveniles, Litopennaeus vannamei, sobre el crecimiento y la conversión alimenticia* (en línea). Managua, Nicaragua. Saborio Coze, A (dir.). Castillo, E; Sequeira, T (colab). Hernandez, N; Castellanos, Z (ed). CIDEA (Centro de Investigación de Ecosistemas Acuáticos), Universidad Centroamericana. 36 p. Consultado 21 set. 2016. <http://repositorio.uca.edu.ni>
- Fishlore.com's. (2013), *Freshwater Aquarium Book*. (en línea). s.l. 524 p. Consultado 5 jul. 2017. <http://www.fishlore.com/freshwater-aquarium-book.pdf>

- Fleitas Estevez, AS y Rodrigues Fuentes, G. (2011). *Zeolitas naturales de utilidad en la práctica médica* (en línea, artículo en revisión). La Habana, Cuba. Consultado 5 set. 2016. http://www.bvs.sld.cu/revistas/ang/vol_11_2_11/ang09211.htm
- Florida Department of Environmental Protection Chemistry Laboratory Methods manual, Tallahassee. 2001. *Calculation of Un-ionized ammonia in fresh water storet Parameter code 00619*. Florida, EE.UU. 16 p.
- Gallego-Alarcon, I y García Pulido, D. (2017). *Remoción de nitrógeno amoniacal total en un biofiltro: percolador-columna de arena*. Mexico. Universidad Autónoma del Estado de Mexico. Tecnología y Ciencias del Agua, vol. VIII, núm. 1. p 81-93.
- Galindo, J., Jaime, B., Fraga, I y Alvarez; J. (2006). *Empleo de la zeolita en la alimentación del camarón blanco Litopenaeus schmitti* (en línea). In CIVA (Congreso Iberoamericano Virtual de Acuicultura) (IV) La Habana, Cuba. Centro de Investigaciones Pesqueras, Ministerio de la Industria Pesquera. p. 106-112. Consultado 15 jun. 2016. <http://www.oceandocs.org/bitstream/handle/1834/2619/GALINDO%20CIVA%202006.pdf?sequence=1>
- Garcia Gonzales, MC. (2002). *Regeneración de Zeolita Clinoptilolita Empleada para la Remoción de Amonio*. (en línea). Tesis Ing. Quim. Toluca. México Universidad Autónoma del Estado de México. 62 p. Consultado 19 set. 2016. <http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore>
- Ghasemi, Z., Sourinejad, I., Kazemian, H. y Rohani, S. (2016). *Applications of zeolites in aquaculture industry: a review*. Reviews in Aquaculture 2016(0):1–21.
- Gokdogan, S., Ozogul, Y., Kuley, E., Ozogul, F., Kacar, C. y Ucar, Y. (2015). *The influences of natural zeolite (cliptinolite) on ammonia and biogenic amine formation by foodborne pathogen*. Journal of Food Science 77(8): 452-457 p.

HACH, 2014. *Cadmium Reduction Method*. Hach Company. Revisado el 12 de noviembre de 2020.

www.hach.com/asset-get-download-en.jsa

Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura, Colombia. *Fundamentos de Acuicultura Continental*. 2 ed. Rodriguez Gomez, H (ed.); Victoria Daza, P (ed.); Carrillo Avila, M. (ed.). Bogotá, Colombia. Grafimpresos Quintero. 423 p.

Gonzaga Galeana, VE. (2013). *Interacción del ion amonio con zeolita natural acondicionada con plata y su efecto sobre la desinfección del agua contaminada frente a un consorcio de microorganismos gram (+) y gram (-)* (en línea). Tesis Mg. Sc Ing. Amb. Metepec. Estado De México. México. Instituto Tecnológico de Toluca. 82 p. Consultado 9 oct. 2017.

<http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore>

Gutiérrez Segura, EE. (2011). *Remoción de azul índigo y cadmio presentes en soluciones acuosas empleando un material zeolítico modificado y un carbonoso activado*. (en línea). Tesis Ph. D. Toluca, México Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de Química 210 p. Consultado 9 oct. 2017.

“<http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStoref>”

Martinez Ensenada, JE. (2014). *Diseño y evaluación de un sistema de recirculación para el lenguado de California (Paralichthys californicus)* (en línea) Tesis Mg. Sc. Ciencias.

Baja California, Mexico.

<https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1007/136/1/237551.pdf>

Kucharczyk, D., Targońska, K., Zarski, D., Krejszeff, S., Kupren, K., Luczýnski, MJ y Szczerbowski, A. (2010). *The reproduction of neon tetra Paracheirodon innesi (Myers, 1936) under controlled conditions*. (en línea). Polish Journal of Natural Sciences 25(1):81-92.

Kullander, SO. (1986). Cichlid fishes of the amazon river drainage of Peru. (en línea).

- Kumar Jain, S. (1999). *Protective role of zeolite on short and long-term lead toxicity in the teleost fish Heteropneustes fossilis*. (en línea). *Chemosphere*. 39(2):247-251.
- Lebedynets, M., Sprynskyy, M., Sakhnyuk, I., Zbytniewski, R., Golembiewski, R. y Boguslaw, B. 2004. *Adsorption of Ammonium Ions onto a Natural Zeolite: Transcarpathian Clinoptilolite*. *Journal of Colloid and Interface Science*. 284:408-415.
- Losordo, TM., Malone, RF. y Chen, S. (1992). *Water Quality Requierements and Enviromental Impacts of Recirculation Aquaculture Systems* (en línea). *In Proceedings of the United States National Oceanographic and Atmospheric Administration; Israel Oceanographic and Limnological Research Institute, Workshop on Mariculture and the Enviroment*, 17 p. Consultado 23 nov. 2017. <http://nsgl.gso.uri.edu/lsu/lur92028.pdf>
- López, G. (2017). *Científicos harán inventario de todas las especies de peces en la Amazonía Peruana* (en línea). *La Región, Diario Judicial de Loreto*. Perú. 4 feb. Consultado 7 jul. 2017. <http://diariolaregion.com/web/cientificos-haran-inventario-de-todas-las-especies-de-peces-en-la-amazonia-peruana/>
- Masser, MP., Rakocy, J. y Losorde, TM. (1992). *Recirculating Aquaculture Tank Production Systems: Management of Recirculating Systems*. SARC (Southern Regional Acuaculture Center) (452) 12 p.
- Meilani., Syafalni, S., Santoso, S. y Malau, G. (2016). *Rainwater quality improvement using zeolite, activated carbon, limestone and preheated 400°C limestone*. (en línea). *In MATEC (Materials Science, Engieneering and Chemistry) web of Conferences*. Indonesia. 101. 4 p. Consultado 12 may. 2017. <https://www.matec-conferences.org>

- Melo Martinez, SE. (2012). *Análisis de datos longitudinales y multivariantes mediante distancias con modelos lineales generalizados*. Barcelona, España (en línea, tesis). Universidad de Barcelona, Facultad de Biología, Programa de Doctorado en Estadística. Departamente de Estadística. 167 p. Consultado 11 nov. 2020. http://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/35470/2/SEMM_TESIS.pdf
- Morante Carballo, FE. (2004). *Las zeolitas de la costa de Ecuador (Guayaquil): Geología, Caracterización y Aplicaciones*. Madrid, España (en línea, tesis) Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Madrid. 384 p. Consultado 15 oct. 2016. <http://oa.upm.es/740/1/06200413.pdf>
- Nieves Soto, M. (2000). *Efecto de productos de naturaleza zeolítica sobre el crecimiento y la calidad dietética de microalgas para la acuicultura*. (en línea). Tesis Ph. D. Colima, México. Universidad de Colima, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. 195 p. Consultado 8 set 2016. http://digeset.ucol.mx/tesis_posgrado/Pdf/Mario%20Nieves%20Soto.pdf
- Nolorbe-Payahua, C., Sanchez-Ribeiro, H y García-Dávila, C. (2015). *Evaluación de la ictiofauna de la zona baja del río Orosa en época de vaciante del año 2011, Loreto-Perú*. (en línea) Folia Amazonica. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana. 24 (2): 163 – 178.
- Obradović, S., Adamović, M., Vukašinović, M., Jovanović, R. y Levic, J. (2006). *The application effects of natural zeolite in feed and water on production results of *Oncorhynchus mykiss**. Roumanian society of Biologicas Services 11(6): 3005-3013.
- Palacios Huerta, SM. (2014). *Estudio microbiológico e histopatológico en neón tetra (*Paracheirodon innesi*) procedente de la amazonía peruana*. (en línea). Tesis. Universidad nacional mayor de san marcos. Facultad de medicina veterinaria e.a.p. de medicina veterinaria. Lima, Perú. 87 pp.

- Palacios, S., Sandoval, N., Bueno, Chen y Manchego, A. (2015). *Estudio microbiológico e histopatológico en peces tetra neón (Paracheirodon innesi) de la amazonia peruana* Investigación veterinaria Perú; 26(3): 469-483.
- PRODUCE (Ministerio de la Producción) (2012). *Programa nacional de ciencia, desarrollo tecnológico e innovación en acuicultura (C+Dt+i) 2013 – 2021* (en línea) Lima, Perú. Ministerio de la Producción, Dirección de Acuicultura. 40 p. Consultado 20 may. 2017.
<https://portal.concytec.gob.pe>
- Pykalainen, M. (2004). *Análisis de pesca y comercio de peces ornamentales de la reserva nacional allpahuayo mishana*. (en línea) s.l. 21 p. Disponible en:
<http://www.promamazonia.org.pe>
- Regueiro, L. y Soula, M. (2020). *Desarrollo de un filtro biológico innovador para su aplicación en acuicultura basado en un relleno sostenible de concha de mejillón* (en línea).
<https://www.researchgate.net/publication/346084834>
- Riano Castillo, ER. (2013). *Efecto de diferentes niveles de proteína en la dieta y temperatura sobre el crecimiento y excreción de nitrógeno amoniacal total en goldfish Carassius auratus bajo condiciones de laboratorio* (en línea). Hurtado Giraldo, H (dir.); Gomez Ramirez, E (subdir.). Trabajo de grado biol. Bogotá, Colombia Universidad Militar Nueva Granada, Facultad de Ciencias Básicas, 69 p. Consultado 11 may. 2017.
<http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/10431/1/RianoCastilloEdnaRocio2013.pdf>
- Rodriguez Urioz, R. (2011). *Eliminación biológica de nitrógeno de un efluente con alta carga orgánica y amoniacal* (en línea). Tesis Mg. Sc. Ing. Amb. España. Universidad Politécnica de Catalunya, Departamento de Ingeniería Textil y Papelera. 85 p. Consultado 5 nov. 2016.

http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/12863/Rodriguez_Urioz_Raquel.pdf?sequence=6

Ruiz Rios, L. (2012). *Estado de la acuicultura en el Perú*. (en línea). AquaTIC (37): 99 – 06. Consultado 11 oct. 2017.

http://www.revistaaquatic.com/aquatic/pdf/37_12.pdf

Salazar Maco, EH. y Oliva Macedo, WI. (2013). *Análisis de las exportaciones de peces ornamentales de Loreto, periodo 2008-2012* (en línea). Tesis lic. Neg. Int. Iquitos, Perú. Universidad Nacional de la Amazonia Peruana, Facultad de Ciencias Económicas y de Negocios, Escuela Profesional de Negocios Internacionales y Turismo. 52 p. Revisado 17 may. 2017.

<http://dspace.unapiquitos.edu.pe/bitstream/unapiquitos/557/1/TESIS%202013.pdf>

Sanaye, S., Dhaker, H., Tibile, R. y Mhatre, V. (2014). *Effect of green water and mixed zooplankton on growth and survival in neon tetra, Paracheirodon innesi (Myers, 1936) during larval and early fry rearing*. s.l. International Journal of Biological, Life Science and Engineering 8(2): 21-25.

Saxby, A., Adams, L., Snellgrove, D., Wilson, RD. y Sloman, KA. (2010). *The effect of group size on the behaviour and welfare of four fish species commonly kept in home aquaria*. Reino Unido. Applied Animal Behaviour Science 125: 195–205.

Song, Liu y Zhang. (2014). *Ion-exchange adsorption of calcium ions from water and geothermal water with modified zeolite A*. AIChE (American Institute of Chemical Engineers); 61(2): 640-654.

Sonnenholzner S. (2004). *Ensayo de remoción de amonio por mineral zeolita: efecto del radio del soluto (amonio) con respecto al absorbente (zeolita)* (en línea). Ecuador CENAIM Informa.. Revisado 25 mar. 2017.
<https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/8446/1/bquinc110.pdf>

- Sprynskyy, M., Lebedynets, M., Terzyk, P., Kowalczyk, P., Namie'snik, J. y Buszewski, B. (2005). *Ammonium sorption from aqueous solutions by the natural zeolite transcarpathian clinoptilolite studied under dynamic conditions*. Journal of Colloid and Interface Science 284 (2005) 408–415.
- Tapia-Salazar, M., Garcia-Perez, OD., Nieto-Lopez, M., Ricque-Marie, D., Villareal-Cavazos, D. y Cruz-Suarez, LE. (2010). *Uso de secuestrantes para disminuir la toxicidad de micotoxinas en alimentos para acuicultura*. Memorias (en línea). In Avances de Nutrición Acuícola (X) Memoria. Monterrey, México. Universidad Autónoma de Nuevo León. pp. 514-546. Consultado 10 may. 2017. http://www.uanl.mx/utilerias/nutricion_acuicola/X/archivos/20-MireyaTapia.pdf
- Tello, M. y Canepa la Serna, JR. (1991). *Estado actual de la explotación de los principales peces ornamentales de la amazonia peruana*. Iquitos, Perú. Revista Folia Amazonica IIAP 3:107-128.
- Valenzuela Marin, TJ. (2004). *Exploración de posibilidades para proponer un tren de tratamiento para remoción de dureza que logre la optimización técnica y económica del proceso* (en línea). Cholula, Puebla, México. Universidad de las Américas Puebla. Escuela de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Química y Alimentos. Consultado 18 nov. 2017. http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/leip/valenzuela_m_td/
- Vargas Rojas, M. (2015). *Evaluación de la pesquería ornamental del programa de manejo pesquero y propuesta de ordenamiento de la pesca en el sistema de cochas de la comunidad nativa Yanayacu – cuenca del Apayacu, 2014* (en línea) Tesis. Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, Facultad de Ciencias Biológicas, Escuela de Formación Profesional de Ciencias Biológicas. Iquitos, Perú.
- Wen, D., Ho, Y. y Tang, X. (2006). *Comparative sorption kinetic studies of ammonium onto zeolite*. Journal of Hazardous Materials B133 (2006): 252–256.

Wood, CM., Robertson, LM., Johannson, OE. y Val, AL. *Mechanisms of Na⁺ uptake, ammonia excretion, and their potential linkage in native Rio Negro tetras (Paracheirodon axelrodi, Hemigrammus rhodostomus, and Moenkhausia diktyota)*. J Comp Physiol B (2014) 184: 877-890

Wurts, W. y Durborow, R. (1992). *Interaction of pH, Carbon Dioxide, Alkalinity and Hardness in Fish Ponds*. Estados Unidos. SRAC (Southern, Regional Aquaculture Center) (464) 4 p.

Zafra Trelles, A. y Vela Alva, K. (2015). *Producción de semilla de Pterophyllum scalare "pez ángel" en sistema cerrado*. Trujillo-Perú. REBIOL (Revista Científica de la Facultad de Ciencias Biológicas 35(1): 91-98.

VIII. ANEXOS

Anexo 1: FICHA TECNICA DE LA ZEOLITA UTILIZADA (Fuente: Agriconat)

Nombre químico	Aluminio silicato hidratado altamente cristalizado
Tipo de mineral	No metálico
Nombre comercial del producto	Zeolita
Nombre científico	Clinoptilolita
Nombre genérico	Zeolita natural
Presentación	Polvo micronizado malla 14-100-200
Registro sanitario I.N.P	001078
Tipo	Zeolita-clinoptilolita con 96% pureza
Color	Verde azulado
Formula química	$\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{Na}_2\text{O} - \text{MgO} - \text{CaO} - \text{K}_2\text{O}$
pH	7.1
Capacidad de intercambio catiónico	115.3 meq/100g

Anexo 2: Ficha técnica del agua desionizada utilizada (Fuente: Adesco Peru)

PARAMETRO (mg/l)	RESULTADO
Conductividad	<1 uS/cm
pH	5-8
Solidos totales	<0.5 mg/l
Cloruros	<0.01 mg/l
Metales pesados	<0.01 mg/l
Nitratos	<0.01 mg/l
Sílice (SiO₂)	<0.10 mg/l
Aluminio	<0.01 mg/l
Antimonio	<0.01 mg/l
Arsénico	<0.01 mg/l
Boro	<0.01 mg/l
Bario	<0.01 mg/l
Cobre	<0.01 mg/l
Hierro	<0.01 mg/l
Potasio	<0.01 mg/l
Magnesio	<0.01 mg/l
Manganeso	<1.00 mg/l
Molibdeno	<0.01 mg/l
Sodio	<0.01 mg/l
Níquel	<0.01 mg/l
Estaño	<0.01 mg/l
Zinc	<0.01 mg/l
Calcio	<1.00 mg/l
Cadmio	<0.01 mg/l
Cromo	<0.01 mg/l

Anexo 3: Experiencias de usos de la zeolita en tratamiento de cuerpos acuáticos

Objetivo	Metodología	Resultados	Referencia
Desinfección de cuerpos de agua utilizando zeolita natural acondicionada con plata	Se acondicionó zeolita natural con plata (AgNO_3), siendo esta inoculada en un consorcio bacteriano (<i>E. coli</i> y <i>S. aureus</i>)	Acción bactericida efectiva por un periodo de 6 a 7 horas. El tiempo aumenta si el intercambio iónico es mayor.	Gonzaga (2013)
Remoción de azul índigo y cadmio utilizando zeolitas modificadas y carbón activado	Uso de material zeolítico modificado con Na^+ y Fe^{3+} y carbón activado modificado con HCl para probar la sorción de azul índigo o cadmio en solución acuosa	Las zeolitas modificadas mostraron mayor adsorción para cadmio que el material carbonoso. El material carbonoso mostró la mayor adsorción para el colorante.	Gutiérrez (2011)
Estudiar la adsorción cinética del amonio en la zeolita	Comparación de adsorción de amonio de zeolita natural, zeolita con material biológico fijado y zeolita biológica con amonio, en dos tamaños de partícula distintos	Mayor adsorción inicial de zeolita con material biológico que la natural, la zeolita biológica cargada con amonio retuvo la mayor parte de su carga de amonio.	Wen <i>et al.</i> (2005)
Remoción de hierro y manganeso en aguas naturales	Remoción de Fe y Mn en soluciones acuosas utilizando zeolita tratada con soluciones 1M y 2M de NaCl	Sin diferencias significativas entre los tratamientos. Mayor remoción (aunque no significativa) de los tratamientos respecto a la zeolita control	Cuchimaque (2006)

<<>Continuacion>>

Probar la dinámica de adsorción de amonio de zeolita Transcarpathian bajo condiciones dinámicas	Se sometió diferentes tamaños de zeolita a diferentes tratamientos y concentraciones de amonio	Mayor efectividad de remoción de amonio de zeolitas con menor tamaño de partícula y tratamiento con NaCl	Sprynskyy (2005)
Mejora de la calidad de agua de lluvia	Se utilizó zeolita, carbón activado y piedra caliza previamente tratada para mejorar la calidad de agua de lluvia	La zeolita mostró un incremento de pH moderado, bajo incremento de conductividad y bajo incremento en solidos disueltos totales. Se consideró la piedra caliza como el mejor tratamiento.	Meilani <i>et al.</i> (2016)

Anexo 4: Usos de la zeolita en la Industria

Objetivo	Metodología	Resultados	Referencia
Determinación del efecto del caudal en la filtración	Comparación entre zeolita natural y resina sintética en capacidad de filtración.	El caudal no tiene efecto en la capacidad de filtración. Existe efecto de la reducción de eficiencia de la zeolita en medios fuertemente ácidos o alcalinos	Duarte y Viscaíno (2015)
Uso de la zeolita como descontaminante de aire	Aplicación como concentrador de compuestos orgánicos volátiles	Incremento de eficiencia en la colecta y destrucción de los compuestos mencionados.	CATC (1999)
Verificar aplicabilidad en la producción de detergentes	Utilización de la zeolita como insumo en la composición de los detergentes	Reducción de emisiones de fosfato en las aguas residuales de lavado	Bosch y Schifter (1997) Corona <i>et al.</i> (2009)
Verificar efecto en formación de aminas biogénicas	Utilización de la zeolita como sustrato para crecimiento de bacterias productoras de aminas biogénicas.	Efecto variable, dependiendo del tipo de bacteria en cuestión. Posible uso como inhibidor selectivo de bacterias	Gokdogan <i>et al.</i> (2012)

Anexo 5: Determinación de la cantidad de cloruro de amonio requerida para la primera etapa del experimento.

Wood *et al.* (2014) calcularon la tasa de excreción del tetra cardinal de $10000 \text{ nmol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ($1 \cdot 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)

Siendo el peso molecular del amonio 18.04, la tasa de excreción del tetra se convierte a:

$$18.04 \cdot 10^{-5} \text{ g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \dots\dots\dots(1)$$

Si el periodo de la experimentación dura 14 días, la excreción total de NAT será:

$$1.804 \cdot 10^{-4} \text{ g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \times 24 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1} \times 14 \text{ d} = 0.06 \text{ g/g pez en total} \dots\dots\dots(2)$$

Si son 50 peces de 0,5 gramos cada uno, la cantidad de mg de NAT será:

$$0.06 \text{ g/g pez} \times 0.5 \text{ g pez} \times 48 = 1.5 \text{ g NAT total} \dots\dots\dots(3)$$

Cada acuario tiene un volumen efectivo de 48 litros, por lo tanto:

$$1.5 \text{ g NAT} / 48 \text{ L} = 0.031 \text{ g/L} = 31 \text{ mg/L NAT por acuario} \dots\dots\dots(4)$$

31 mg/L NAT es lo que una unidad experimental producirá en los 14 días del experimento

Multiplicando por los nueve acuarios del experimento que se van a utilizar, la cantidad de NAT producida será:

$$31 \text{ mg/L} \times 9 = 279 \text{ mg/L} \dots\dots\dots(5)$$

Se procuro trabajar con una temperatura de 26.5°C y un pH de 6.1, según el promedio del cuadro 8. La cantidad de amonio desionizado a esas condiciones es:

$$31 \text{ mg/l} \times 0.00061 = 0.02 \text{ mg/l de amonio no ionizado total (por acuario)}$$

Esta cantidad de amonio no ionizado obtenido se encuentra dentro del rango promedio de 0.0125 - 0.025 mg/l recopilado por Chen (2006) dentro del rango promedio de 0.02 – 0.07 mg/l proporcionado por Masser *et al* (1999) y alcanza el límite de 0.02 ppm mencionado por Ghasemi *et al* (2016)

Se espero que la producción de cada unidad experimental por día fuese la siguiente:

$$31\text{mg/L NAT} / 14 \text{ días} = 2.21 \text{ mg/L día}$$

La sal de cloruro de amonio utilizada tiene el peso molar de 53.491 g/mol. Para determinar la cantidad de sal diaria por unidad experimental se realizará la siguiente ecuación:

$$\begin{array}{l} 18.04 \text{ g/mol} \text{-----} 2.21\text{mg/l NAT} \\ 53.491 \text{ g/mol} \text{-----} X \end{array}$$

$$X = 6.55 \text{ mg/l cloruro de amonio por acuario por día}$$

Multiplicando por los 14 días del experimento por los 9 acuarios utilizados por el total de 48 litros de cada acuario, se obtuvo lo siguiente:

$$6.55 * 9 * 14 * 48 = 39614.4 \text{ mg} = 39.6 \text{ g de cloruro de amonio en total.}$$

**Anexo 6: Remoción de nitrógeno amoniacal total de las unidades experimentales
(primera etapa) Promedio (n= 3)**

	Remoción NAT (mg/l)			% Remoción NAT			Remoción mg NAT/g zeolita		
	ZNa ⁺	ZH ⁺	ZN	ZNa ⁺	ZH ⁺	ZN	ZNa ⁺	ZH ⁺	ZN
15/03/18	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
16/03/18	0.553	0.420	0.587	32.171	24.419	34.109	0.018	0.014	0.019
17/03/18	1.140	1.140	1.073	33.140	33.140	31.202	0.037	0.037	0.035
18/03/18	1.660	1.660	1.660	32.171	32.171	32.171	0.054	0.054	0.054
19/03/18	2.380	2.380	2.380	34.593	34.593	34.593	0.077	0.077	0.077
20/03/18	1.933	1.600	1.767	22.481	18.605	20.543	0.062	0.052	0.057
21/03/18	1.987	1.820	1.987	19.251	17.636	19.251	0.064	0.059	0.064
22/03/18	2.040	2.040	2.040	16.944	16.944	16.944	0.066	0.066	0.066
23/03/18	3.427	2.927	3.260	24.903	21.269	23.692	0.111	0.094	0.105
24/03/18	3.980	3.480	3.813	25.711	22.481	24.634	0.128	0.112	0.123
25/03/18	4.700	4.533	4.200	27.326	26.357	24.419	0.152	0.146	0.135
26/03/18	3.920	2.587	2.920	20.719	13.672	15.433	0.126	0.083	0.094
27/03/18	2.973	2.640	2.973	14.406	12.791	14.406	0.096	0.085	0.096
28/03/18	3.360	3.360	3.027	15.027	15.027	13.536	0.108	0.108	0.098

Anexo 7: Prueba ANOVA nparLD: temperatura (primera etapa)

	GRADOS DE LIBERTAD	P-VALOR	SIGNIFICANCIA
Tratamientos	4.936224	0.4565279	n.s.
Comparación ZNa ⁺ :ZH ⁺	3.030159	0.2971501	n.s.
Comparación ZNa ⁺ :ZN	2.702630	0.4192015	n.s.
Comparación ZH ⁺ :ZN	3.517256	0.5960260	n.s.

Anexo 8: Prueba ANOVA nparLD: pH (primera etapa)

	GRADOS DE LIBERTAD	P-VALOR	SIGNIFICANCIA
Tratamientos	2.342350	0.09874014	*
Comparación $ZNa^+ : ZH^+$	1.561909	0.1343762	n.s.
Comparación $ZNa^+ : ZN$	2.938039	0.1496134	n.s.
Comparación $ZH^+ : ZN$	1.530021	0.09246085	*

Anexo 9: Prueba ANOVA nparLD: Conductividad eléctrica (primera etapa)

	GRADOS DE LIBERTAD	P-VALOR	SIGNIFICANCIA
Tratamientos	2.730512	0.10679382	n.s.
Comparación $ZNa^+ : ZH^+$	1.882492	0.1295735631	n.s.
Comparación $ZNa^+ : ZN$	2.569164	0.0175346789	**
Comparación $ZH^+ : ZN$	1.717394	0.2784076821	n.s.

Anexo 10: Prueba ANOVA nparLD: Sodio (primera etapa)

	GRADOS DE LIBERTAD	P-VALOR	SIGNIFICANCIA
Tratamientos	2.941653	<0.000001	***
Comparación $ZNa^+ : ZH^+$	1.594822	<0.000001	***
Comparación $ZNa^+ : ZN$	1.695469	<0.000001	***
Comparación $ZH^+ : ZN$	2.265765	0.155415	n.s.

Anexo 11: Remoción de Nitrógeno Amoniacal del Medio (segunda etapa)

FECHA	Prom. remoción NAT			% remoción NAT			mg NAT/g zeolita		
	ZNa ⁺	ZN	ZH ⁺	ZNa ⁺	ZN	ZH ⁺	ZNa ⁺	ZN	ZH ⁺
21/08/18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000
22/08/18	0.07	0.07	0.07	25.00	25.00	25.00	0.001	0.001	0.001
23/08/18	0.13	0.27	0.27	25.00	50.00	50.00	0.001	0.003	0.003
24/08/18	0.27	0.27	0.27	40.00	40.00	40.00	0.003	0.003	0.003
25/08/18	0.47	0.47	0.47	53.85	53.85	53.85	0.005	0.005	0.005
26/08/18	0.60	0.60	0.60	60.00	60.00	60.00	0.006	0.006	0.006
27/08/18	0.60	0.67	0.67	56.25	62.50	62.50	0.006	0.007	0.007
28/08/18	0.73	0.80	0.67	61.11	66.67	55.56	0.008	0.009	0.007
29/08/18	0.80	0.80	0.73	63.16	63.16	57.89	0.009	0.009	0.008
30/08/18	0.80	0.87	0.73	60.00	65.00	55.00	0.009	0.009	0.008
31/08/18	0.93	1.00	0.93	63.64	68.18	63.64	0.010	0.011	0.010
1/09/18	1.00	1.00	1.00	62.50	62.50	62.50	0.011	0.011	0.011
2/09/18	1.13	1.13	1.13	65.38	65.38	65.38	0.012	0.012	0.012
3/09/18	1.00	1.07	1.07	60.00	64.00	64.00	0.011	0.011	0.011
4/09/18	1.13	1.13	1.13	62.96	62.96	62.96	0.012	0.012	0.012
5/09/18	1.20	1.13	1.20	64.29	60.71	64.29	0.013	0.012	0.013
6/09/18	1.20	1.20	1.20	66.67	66.67	66.67	0.013	0.013	0.013
7/09/18	1.33	1.33	1.33	68.97	68.97	68.97	0.014	0.014	0.014

Anexo 12: Biometría realizada al culminar la segunda parte experimental

Acuario	# Ind	Biomasa (g)	Peso un. (g)	Longitud un. (cm)
ZNa ⁺ ₁	43	2.43	0.0565	1.65
ZN ₁	49	2.89	0.059	1.74
C ₂	49	3.01	0.0614	1.77
ZNa ⁺ ₂	49	2.88	0.0588	1.79
ZH ⁺ ₁	49	3.31	0.0676	1.75
ZH ⁺ ₂	38	2.8	0.0737	1.79
ZN ₃	50	3.27	0.0654	1.76
ZN ₂	48	2.66	0.0554	1.65
ZNa ⁺ ₃	46	2.54	0.0552	1.61
ZH ⁺ ₃	50	2.93	0.0586	1.69
C ₁	47	2.74	0.0583	1.7
C ₃	47	2.56	0.0545	1.70

Anexo 13: Tabla de cambio de ración alimenticia (g)

Fecha	21/08/18	29/08/18	30/08/18	1/09/18
% biom	1.2	1.5	2	3
ZNa ⁺ ₁	0.033	0.038	0.05	0.075
ZN ₁	0.033	0.041	0.055	0.082
C ₂	0.033	0.041	0.055	0.082
ZNa ⁺ ₂	0.033	0.04	0.053	0.08
ZH ⁺ ₁	0.033	0.041	0.055	0.082
ZH ⁺ ₂	0.033	0.039	0.052	0.078
ZN ₃	0.033	0.041	0.055	0.082
ZN ₂	0.033	0.04	0.053	0.079
ZNa ⁺ ₃	0.033	0.04	0.053	0.079
ZH ⁺ ₃	0.033	0.041	0.055	0.082
C ₁	0.033	0.039	0.052	0.078
C ₃	0.033	0.04	0.053	0.079

Anexo 14: Prueba ANOVA nparLD: temperatura (segunda parte)

	GRADOS DE LIBERTAD	P-VALOR	SIGNIFICANCIA
Tratamientos	5.444894	0.377557687	n.s.
Comparación ZNa ⁺ :ZH ⁺	2.348499	0.704921210	n.s.
Comparación ZNa ⁺ :ZN	3.227825	0.356985967	n.s.
Comparación ZNa ⁺ :C	2.552071	0.414126053	n.s.
Comparación ZH ⁺ :ZN	2.715286	0.202393668	n.s.
Comparación ZH ⁺ :C	2.143947	0.475269988	n.s.
Comparación ZN:C	2.605917	0.199977809	n.s.

Anexo 15: Prueba ANOVA nparLD: pH (segunda parte)

	GRADOS DE LIBERTAD	P-VALOR	SIGNIFICANCIA
Tratamientos	3.405576	0.001539018	***
Comparación ZNa ⁺ :ZH ⁺	2.533938	<0.00001	***
Comparación ZNa ⁺ :ZN	1.677763	0.000676	***
Comparación ZNa ⁺ :C	1.811656	0.00013	***
Comparación ZH ⁺ :ZN	1.566112	0.2790151	n.s.
Comparación ZH ⁺ :C	1.650474	0.5691557	n.s.
Comparación ZN:C	1.338130	0.4992376	n.s.

Anexo 16: Prueba ANOVA nparLD: conductividad eléctrica (segunda parte)

	GRADOS DE LIBERTAD	P-VALOR	SIGNIFICANCIA
Tratamientos	4.579917	<0.00001	***
Comparación ZNa ⁺ :ZH ⁺	2.822372	<0.00001	***
Comparación ZNa ⁺ :ZN	2.222753	<0.00001	***
Comparación ZNa ⁺ :C	2.764319	<0.00001	***
Comparación ZH ⁺ :ZN	2.397929	0.3240738	n.s.
Comparación ZH ⁺ :C	2.530945	0.2199077	n.s.
Comparación ZN:C	1.920659	0.2284186	n.s.

Anexo 17: Prueba ANOVA nparLD: Sodio (segunda etapa)

	GRADOS DE LIBERTAD	P-VALOR	SIGNIFICANCIA
Tratamientos	3.934083	<0.00001	***
Comparación ZNa ⁺ :ZH ⁺	1.832912	0.000019	***
Comparación ZNa ⁺ :ZN	2.778159	0.000018	***
Comparación ZNa ⁺ :C	2.092981	<0.00001	***
Comparación ZH ⁺ :ZN	2.114115	0.3492207	n.s.
Comparación ZH ⁺ :C	1.919795	<0.00001	***
Comparación ZN:C	1.928233	<0.00001	***

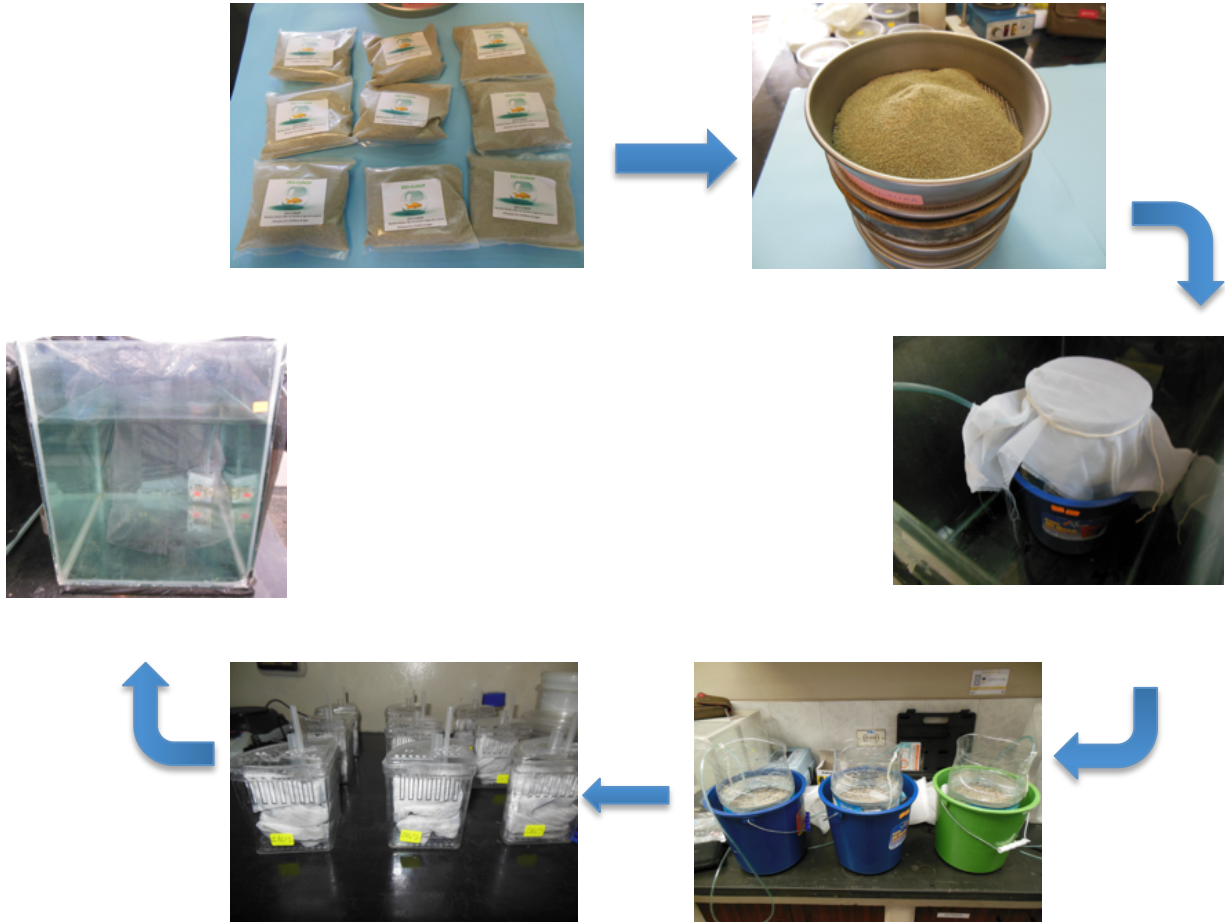
Anexo 18: Prueba ANOVA nparLD regresión lineal primera parte

OBJETIVO	PARAMETRO	ERROR ESTANDAR	P-VALOR	SIGNIFICANCIA
NAT	Temperatura	0.2924	0.03427	**
	pH	1.0542	0.00152	***
NH3	Temperatura	0.004116	0.621	n.s.
	pH	0.014840	<0.00001	***
NH4	Temperatura	0.2933	0.03428	**
	pH	1.0576	0.00342	***

Anexo 19: Prueba ANOVA nparLD regresión lineal segunda parte

OBJETIVO	PARAMETRO	ERROR ESTANDAR	P-VALOR	SIGNIFICANCIA
NAT	Temperatura	0.04064	0.328	n.s.
	pH	0.19149	0.117	n.s.
NH3	Temperatura	0.0003157	0.07	*
	pH	0.0014876	<0.00001	***
NH4	Temperatura	0.04039	0.331	n.s.
	pH	0.19032	0.106	n.s.

Anexo 20: Establecimiento del sistema de retrolavado de la zeolita



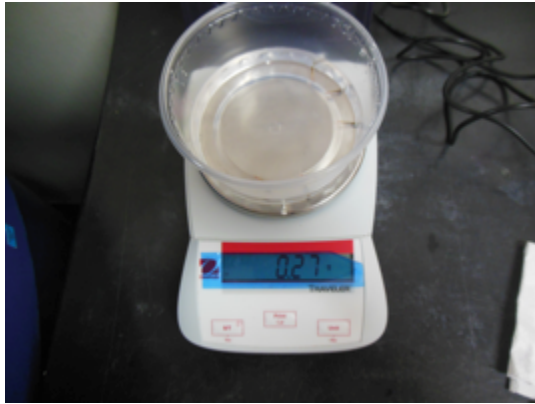
Anexo 21: Preparación de las muestras de cloruro de amonio para inoculación a los medios.



Anexo 22: Tanque de adaptación de los peces ornamentales



Anexo 23: Biometría de los peces utilizados: peso (izquierda), talla (derecha)



Anexo 24: Restos de los peces capturados dentro del filtro.

