

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA
Y ZOOTECNIA

EVALUACIÓN DE ELEMENTOS MINERALES Y
NITRÓGENO EN DISTINTOS PUNTOS DE UN
SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES PORCINAS.

TESIS
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
MÉDICA VETERINARIA ZOOTECNISTA

PRESENTA

ALICIA LEÓN MARTÍNEZ

ASESORES:
MVZ, MPA Marco Antonio Herradora Lozano
MVZ, MPA. Sergio Ángeles Campos



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DEDICATORIA

A Josefa y Jorge, mis padres.

A todos aquellos que en algún momento me han apoyado.

“Como suele acontecer al hombre que va buscando plata que, sin pretenderlo, topa algunas veces con oro..., así yo encontré, en las palabras del hombre, en la ciencia y en los libros, el sustento donde ahora crece mi alma...”

Dante Alighieri.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, gracias por todo, todo, todo lo que tengo en mi vida.

A Jorge y Guillermo, mis hermanos, deseando que día tras día se sientan orgullosos de lo que hacen en su vida.

A mi abuelo Guillermo, por sembrar en mi la inquietud de ser una profesionista y al resto de mi familia.

A todos mis amigos y amigas, por que han sido compañía, aventuras, risas, apoyo y ejemplo, por que de cada uno he aprendido algo, y sobre todo por que con su presencia han hecho tan agradable mi vida,

En especial a Claudia, por ser tan generosa conmigo, a Dianita, Minerva, Abigail, Erika, Minelia y Álvaro.

Al Dr. Francisco Castrejón, por creer en mi desde el primer día.

A la Q. Águeda García Pérez, por estar conmigo en el día a día en la realización de este trabajo y sobre todo por el interés que siempre mostraste, mil gracias.

Al Dr. Rene Rosiles por acceder a asesorarme y por enseñarme que el compromiso de realizar un buen trabajo esta por encima de todo.

Al Depto. de Nutrición Animal y Bioquímica de la FMVZ, por que en su personal encontré, además de la oportunidad de crecer profesionalmente, buenos amigos y muy buenos momentos.

En especial a Grisel, Maite, Alejandra, Johana, y Juan José.

Al Dr. Herradora y al Dr. Ángeles, mis asesores, por las facilidades para realizar este trabajo.

Al proyecto PAPITT por el financiamiento otorgado para la realización de esta tesis.

A la educación publica y gratuita sin la cual no habría podido llegar hasta aquí.

A mi Universidad y a mi Facultad que me hacen sentir mucho orgullo y a las que amo tanto, comprometiéndome a siempre ser una digna universitaria.

CONTENIDO

	Página
RESUMEN.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	2
Justificación.....	6
Objetivos.....	7
Hipótesis.....	7
2. MATERIAL Y MÉTODOS.....	8
Sistema de Sedimentación y Filtración.....	8
Muestreo.....	10
Procesamiento de las muestras.....	12
Determinación de Nitrógeno Amoniacal.....	14
Determinación de Nitrógeno Total.....	16
Obtención de sólidos.....	18
Preparación de Solución Madre.....	19
Preparación de Diluciones.....	21
Lectura en Espectrofotometría de Absorción Atómica.....	22
Lectura en Espectrofotometría de Luz Ultravioleta.....	23
Análisis Estadístico.....	25
3. RESULTADOS.....	27
4. DISCUSIÓN.....	34
5. CONCLUSIONES.....	39
6. RECOMENDACIONES.....	40
7. BIBLIOGRAFÍA.....	42

INDICE DE CUADROS

		Página
Cuadro	Media y desviación estándar de concentración de elementos (mg/L) en cada estructura en las cuatro semanas de muestreo.....	28
Cuadro	Concentración promedio (mg/L) de los elementos minerales en el Sistema de Sedimentación y Filtración.....	29
Cuadro	Concentración promedio de sólidos (g/L) y elementos minerales (mg/L) en dos niveles Fondo y Medio de las estructuras Sedimentador, Filtro 2 y Filtro 3.....	30
Cuadro	Efecto de la estructura (Sedimentador, Filtro 2 y Filtro 3), profundidad (Fondo y Parte Media) y su interacción en la concentración de elementos minerales en el Sistema de Filtración y Sedimentación.....	31
Cuadro	Concentración promedio de los elementos minerales (mg/L) del Filtro 3 y los límites máximos permisibles marcadas en la . Nom-001-Ecol-1996 y Nom-127-Ssa1-1994.....	33
Cuadro	Peso molecular y porcentaje de retención de cada elemento monitoreado en el Sistema de Sedimentación y Filtración.....	38

INDICE DE FIGURAS

		Página
Figura 1.	Esquematización del Sistema de Tratamiento.....	9
Figura 2.	Estructura del filtro.....	10
Figura 3.	Filtros.....	11
Figura 4.	Procesamiento de las muestras.....	12
Figura 5.	Diagrama del procesamiento de las muestras.....	13
Figura 6.	Porcentaje de retención del Sistema de Sedimentación y Filtración para cada uno de los elementos monitoreados.....	32

RESUMEN

LEÓN MARTÍNEZ ALICIA. Evaluación de elementos minerales y nitrógeno en distintos puntos de un sistema de tratamiento de aguas residuales porcinas. (Bajo la dirección de MVZ, MPA Marco Antonio Herradora Lozano y MVZ, MPA. Sergio Ángeles Campos)

Como sector, los porcicultores tienen una situación irregular como usuarios del agua y de los bienes nacionales donde se descargan aguas residuales (AR) provenientes de las granjas, de ahí la importancia de evaluar los sistemas de tratamiento de AR como alternativa para disminuir las concentraciones de minerales en estas. Se determinó el contenido de sólidos, N-NH₄, N Total y la concentración de elementos minerales Cu, Fe, Zn, Mn, Cd, Pb, P y Na en las AR de una granja porcina, a través de su paso por tres puntos de un sistema de sedimentación y filtración de flujo continuo, basado en filtros de grava. Las muestras se tomaron a dos niveles en cada fosa, en la parte media y el fondo. A fin de cuantificar la concentración de elementos y confrontar los valores obtenidos en el último filtro con los límites máximos permisibles marcados por la norma NOM-001-ECOL-1996. Se realizó un análisis de varianza correspondiente a un modelo factorial entre estructura y profundidades. Se encontró que los valores de las variables son diferentes en tres puntos (fosa de Sedimentación y filtros) de un Sistema de Sedimentación y Filtración (SSF). El proceso de Sedimentación es el que mayor influencia tiene sobre los cambios de concentración, favorece la sedimentación de los elementos minerales con mayor peso molecular. Los valores de Cu, Zn, Cd, Pd, y Ni del último filtro cumplen con lo señalado con la norma, por lo que la implementación de un SSF para el tratamiento de las aguas residuales procedentes de una granja porcina no asegura el total cumplimiento de la norma NOM-001-ECOL-1996.

1. INTRODUCCIÓN

Como parte de un sistema social complejo, la ganadería se enfrenta hoy al reto de cumplir con su función de proporcionar alimentos de calidad a la población humana y a la vez conservar los recursos naturales, que son de todos. El ciclo de transformación de los insumos agrícolas a productos pecuarios como, carne, leche, piel, entre otros, lleva implícito la generación de residuos, que en algún grado conlleva a la alteración de los recursos naturales. En los últimos tiempos, las actividades pecuarias se han relacionado con la mala utilización de dichos recursos, es así como la deforestación, la erosión, la contaminación del aire, el suelo y el agua son conceptos que se han vinculado con la ganadería¹. Se le ha restado importancia a su papel como generador de alimentos y empleos, debido a que se le presenta como un factor contaminante.

A lo largo del tiempo las naciones han empleado sus recursos naturales y en ocasiones los de otras naciones en aras del desarrollo, sin considerar las consecuencias que su uso indiscriminado tendría sobre este mismo. A fin de dar respuesta a las necesidades alimenticias de la población humana en constante crecimiento, las naciones recurrieron al uso intensivo de los recursos. Así los sistemas de producción pecuaria modificaron su estructura haciéndose cada vez más eficientes, pero su transformación no incluyó una plantación del uso de los recursos naturales, que las hicieran sustentables; y tan solo tres décadas atrás los daños empezaban a hacerse indiscutibles^{2,3}.

La tendencia a la concentración de animales y la frecuente falta de espacios, provoca la acumulación de residuos diversos difíciles de eliminar⁴, estos residuos afectan el equilibrio ecológico y desgastan los elementos naturales. Dentro de estos, el agua representa para México un elemento indispensable pero también escaso cuya falta puede, a mediano plazo, comprometer seriamente las posibilidades de desarrollo⁵. México es un país pobre en recursos hídricos, las precipitaciones pluviales promedio son de 700 a 777mm/año, con valores que van de 90 a 1800 mm/año y posee sólo el 0.1 por ciento del agua dulce que hay en el planeta⁶. Del total de agua utilizada en el país, la que se emplea en el rubro agropecuario representa un 77%⁷, y paradójicamente es este rubro el que mayor contaminación provoca. La disponibilidad del agua ha ido en decremento, de modo que se ha hecho impostergable para las empresas pecuarias la

necesidad de implementar sistemas de tratamiento que permitan la reutilización del agua y evaluar el costo del tratamiento.^{8,9}

En la ganadería, principalmente la de tipo intensiva, el agua representa un elemento indispensable¹, dentro de estas la porcicultura representa en el país el 27% del total de carnes producidas, y se estima que el consumo per cápita de carne de porcino es de alrededor de 14 kg¹⁰. A nivel mundial, México ocupa el lugar número 18 en producción de carne de cerdo, y se ubica como segundo productor latinoamericano, y presenta una tasa anual de crecimiento del 2.8%¹⁰. Se sabe que la mayor parte de la porcicultura especializada se encuentra en manos del sector privado, la participación de ejidatarios y comuneros es mucho menor. Se estima que aproximadamente el 70% de las unidades producción son de ciclo completo; el resto son granjas de engorda que producen lechones, mientras que las granjas de pía de cría son muy pocas¹¹.

La ganadería porcina ha sobrellevado durante décadas una problemática ya que las aguas residuales provenientes de las granjas presentan cantidades importantes de contaminantes que afectan al agua y el suelo principalmente. El problema ecológico de la porcicultura mexicana es el resultado de dos procesos que se han dado en los últimos 25 años: el desarrollo de la porcicultura moderna especializada con altas concentraciones de animales y el crecimiento de las poblaciones urbanas que absorbió zonas con infraestructura agrícola^{11,12}. Se establecieron regiones con alta concentración de granjas (cuencas porcinas), se desarrollaron empresas de alta capacidad instalada, por lo tanto, con elevada población de animales en un solo lugar, con sus consecuentes efectos acumulativos; que incluyen la contaminación de las aguas subterráneas y superficiales por aguas residuales, intoxicación de suelo superficial y contaminación de aire por olores^{13,14}. Se estima que en promedio un cerdo excreta aproximadamente 5.8 kg. de heces más orina al día¹⁵.

Aunque la producción de cerdos es practicada en todo el territorio nacional, su concertación es mayor en las zonas donde los recursos hídricos son escasos¹¹. en estos lugares es en donde la operación de grandes grupos de productores y empresas permite ofertar grandes volúmenes de carne para el abasto interno e inclusive para la exportación, de tal forma que el 68.7 % de la producción nacional es generada en 6 entidades del país: Jalisco, Sonora, Guanajuato, Puebla, Yucatán y Michoacán^{10, 15}.

Como sector, los porcicultores tienen una situación irregular como usuarios del agua y de los bienes nacionales donde se descargan aguas residuales. Existe poca información acerca de la situación de las granjas para abasto, del agua residual que utilizan y la infraestructura para su manejo. No existe un patrón claro respecto a la producción de aguas residuales, y esta es influenciada por variables como el tamaño y modalidad de las granjas^{11, 13}. La información sobre la utilización del agua en las granjas porcinas no ha sido bien sustentada, se han hecho encuestas pero se cree que los datos obtenidos han sido proporcionados erróneamente de una manera intencional. Por lo que al desconocer las cantidades de agua utilizada se desconoce también el estimado de agua residual vertida por las granjas porcinas. Debido a que en México el agua utilizada en actividades agropecuarias es gratuita o a un precio muy bajo, la mayoría de los porcicultores hace un uso inadecuado de ella y no sabe con precisión que cantidad de es utilizada. La gran mayoría de las granjas no cuentan con un sistema apropiado de tratamiento de aguas residuales^{11, 12, 16}.

Dentro de la composición química de las aguas residuales de las granjas porcinas, los minerales al ser desechados son capaces de alterar la cadena de vida de varias especies, cuando dichas aguas de desecho se utilizan para el riego pueden ocasionar daños severos en la fertilidad del suelo^{17, 18}. De ahí la importancia de que un sistema de tratamiento de aguas residuales sea una alternativa para disminuir tanto las concentraciones de agentes patógenos como la de minerales; ya que aun en cantidades pequeñas estos tiene una significancia biológica importante^{19, 20}.

En el país el marco legal de los aspectos ambientales está constituido por cuatro leyes:

- *Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente*.-Su ámbito de acción incluyen la prevención y control de la contaminación de agua y ecosistemas acuáticos; expedición de normas técnicas ecológicas para el manejo de zonas de protección de ríos, manantiales, etcétera; fija condiciones particulares de descargas; realiza acciones para evitar los procesos de eutroficación, salinización en las corrientes y cuerpos de agua propiedad de la nación; establece que el aprovechamiento del agua en actividades productivas con lleva la responsabilidad del

tratamiento de las descargas, para su utilización en otras actividades y para mantener el equilibrio de los ecosistemas.

- *Ley de Aguas Nacionales.*- Sus disposiciones se ejercen a través de la Comisión Nacional del Agua, y tiene como parte de su misión establecer y controlar todo lo relacionado con los permisos para descargar aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación, así como imponer sanciones a los infractores de esta ley.
- *Ley General de Salud.*- Establecer criterios sanitarios para la fijación de condiciones particulares de descargas, el tratamiento y uso de aguas residuales para la elaboración de Normas Oficiales Mexicanas en la materia, prohíbe la descarga de aguas residuales sin tratamiento que satisfaga las disposiciones de las leyes en cuerpos de agua que se destinen para el uso o consumo humano.
- *Ley Federal de Derechos en Materia de Agua.*- Establece el pago de un derecho por el uso de un cuerpo propiedad de la nación como receptor de aguas residuales, dicho pago esta en función del tipo de cuerpo receptor, del volumen de agua descargado y de algunas de sus características físico-químicas. Quedan exentos del pago quienes cumplan con los límites máximos permisibles marcados por las leyes y quienes descarguen aguas residuales a redes de alcantarillado que no sean bienes de dominio público de la nación^{12, 15}.

Como parte de los instrumentos de control, en enero de 1997 se publicó una norma específica sobre descargas de aguas residuales, la NOM-001-ECOL-1996. A esta norma se le considera genérica, ya que regula seis tipos de cuerpo receptores y cinco usos posibles del agua de estos cuerpos, Establece además límites máximos permisibles (LMP) para el potencial hidrogeno, la temperatura, los coliformes fecales, los huevos de helmintos, ocho parámetros básicos y el contenido en cianuros y ocho metales pesados.^{15, 21}

La aplicación de la norma es gradual y las fechas de cumplimiento son los años 2000, 2005 y 2010, según la carga contaminante medida por la demanda bioquímica de oxígeno o los sólidos suspendidos totales^{15, 22}. Así las granjas que generan mas de 3 toneladas de sólidos suspendidos totales (SST), deberían de haber cumplido con los LMP de la norma el 1 de enero de 2000; para las granjas que producen entre 1.2 y 3.0 toneladas de SST el plazo se estipulo para el 1 de enero de 2005 y para las granjas restantes la fecha de cumplimiento se amplio hasta el 1 de enero del 2010²³. Una

situación limitante es que esta norma el derecho de contaminar a cambio de un pago, además de que con la estructura administrativa actual su vigilancia resulta prácticamente imposible y sus plazos son extremadamente laxos; además de que es una norma bastante general y no está adecuada a los efluentes de las granjas ganaderas ¹⁵.

A nivel internacional, la cuestión ambiental ha sido objeto de negociaciones en diversos acuerdos y tratados comerciales, que en general otorgan la libertad a cada país para establecer la normas que juzgue pertinentes. Después de treinta años de gestión ambiental en México, sectores productivos completos continúan sin regularización o no contemplados por la normatividad y la política ambiental. Este es el caso de la ganadería, y la agricultura^{15, 24}. Ha de destacarse que las instituciones correspondientes no cuentan con los recursos materiales y humanos para realizar la inspección puntual de todas las granjas. Por ejemplo, que en algunas regiones se cuenta con laboratorios para el análisis de las aguas residuales, pero no están operando debido a la falta de personal, equipo y recursos financieros, así se hace evidente que no existe un adecuado programa de monitoreo o de seguimiento de las explotaciones que descargan aguas residuales hacia cuerpos de agua o al suelo¹⁵.

En la actualidad la porcicultura con su impacto negativo en la calidad de los recursos naturales en especial del agua, esta lejos de ser una actividad sustentable, aunque podría serlo si se manejara adecuadamente. Para que la granjas sean capaces de cumplir con los parámetros que marcan las normas, deberán instalar sistemas de tratamiento para las aguas residuales. El impacto real y potencial en México y otros países prácticamente no ha sido estudiado¹². El tratamiento de aguas debe desarrollar su propia tecnología, de acuerdo con la calidad de este recurso según el sector y la región.^{6, 12}

JUSTIFICACIÓN

La presencia de los minerales en los sistemas de tratamiento de aguas residuales son elementos que deben ser monitorearse de manera constante; son elementos que tienen la capacidad de acumularse y perdurar a través del tiempo. Por lo que su importancia como posible fuente de contaminación, a través de las vertientes de agua residual, para poblaciones humanas y animales debe ser analizada y valorada^{17, 25, 26, 27}. Dada la escasa información que existe en el país sobre el contenido mineral de las aguas

residuales de granjas porcinas, y su comportamiento en los sistemas de tratamiento, se presenta la necesidad de llevar a cabo estudios encaminados a determinar las características del contenido mineral de dichas aguas. Los elementos minerales que son considerados en la “NOM-001-ECOL-1996” y que deben estar en una cantidad limitada en las aguas residuales de las granjas incluyen: P, Cd, Cu, Ni, Pb, Zn, Fe, Mn, y Na, además del Nitrógeno total y amoniacal^{21,28}. Estos minerales son componentes naturales de la corteza de la tierra, y con excepción del nitrógeno, no pueden ser degradados o destruidos. En un grado pequeño se incorporan en el cuerpo animal y humano vía alimento, agua potable ó aire. Algunos son esenciales para mantener el metabolismo del organismo; sin embargo, en concentraciones no adecuadas pueden conducir al envenenamiento^{17,19}.

HIPÓTESIS

- El contenido de g/L de sólidos, nitrógeno total y amoniacal, concentración y composición mineral es diferente en tres puntos (fosa de sedimentación y filtros) de un sistema de tratamiento de aguas residuales porcinas.
- La concentración de minerales y nitrógeno del agua resultante del último filtro en un sistema de tratamiento de aguas residuales porcinas cumple con el límite máximo permisible señalado por la norma NOM-001-ECOL-1996.

OBJETIVOS

- Establecer la cantidad de sólidos (g/L) en las aguas residuales de una granja porcina, a través de su paso por tres puntos de un sistema de sedimentación y filtración de flujo continuo.
- Establecer la composición de elementos minerales en las aguas residuales de una granja porcina a través de su paso por tres puntos de un sistema de sedimentación y filtración de flujo continuo.
- Establecer la concentración de nitrógeno total y amoniacal en las aguas residuales de una granja porcina, a través de su paso por tres puntos de un sistema de sedimentación y filtración de flujo continuo.
- Determinar y analizar las diferencias en los valores encontrados en la composición de elementos minerales, contenido de nitrógeno total y amoniacal, en el fondo y en la parte media de cada fosa estudiada en un sistema de sedimentación y filtración de flujo continuo.

- Confrontar los valores obtenidos en la medición de la concentración mineral, nitrógeno total y amoniacal, de las aguas residuales de una granja porcina, con los límites máximos permisibles marcados en las normas NOM-127-SSA1-1994 y NOM-001-ECOL-1996.

2. MATERIAL Y MÉTODOS.

El trabajo de investigación se llevó a cabo en una granja porcina de tipo semi-intensivo, para producción de lechones con una población de 120 vientres. Esta se encuentra ubicada en el municipio de Otumba, Estado de México.

Se encuentra a una altitud media de 2250 msnm. Clima de tipo templado subhúmedo con lluvias en verano, con una temperatura media de anual de 14.8°C y una precipitación pluvial promedio anual de 573.3mm.²⁹

SISTEMA DE FILTRACIÓN

Dicha granja cuenta con un sistema de sedimentación y filtración de flujo continuo para el tratamiento de las aguas residuales. (Figura 1.)

El agua residual que proviene de la granja es captada en una fosa de recolección denominada cárcamo, este tiene un volumen de 35.8m³, cuando el agua llega aquí contiene gran cantidad de excretas^{30,31}, además detergentes, desinfectantes, cal y restos de alimento. Del cárcamo los desechos pasan por un separador de sólidos de pantalla tipo cilíndrico, y una vez separada la porción sólida (rica en materia orgánica), la porción líquida se almacena en otra fosa llamada Sedimentador, esta cuenta con 7.8m³ de volumen. En el Sedimentador el agua residual contienen aun una considerable proporción de sólidos y su apariencia es la de un lodo, aquí el agua permanecerá alrededor de 3 días, a fin de separar aun más la porción sólida restante. Pasado este tiempo, el agua es bombeada a los filtros.

El sistema consta de tres filtros (Figura 2). Cada filtro esta formado por dos fosas de 6.6m³, que en el fondo están comunicadas. En las fosas filtro hay una capa de grava de 1.30cm. Cuando el agua entra a esta fosa atraviesa por la fuerza de gravedad la capa de grava y llega a la segunda fosa del filtro, de ahí se bombea a los siguientes filtros. Así los sólidos presentes en el agua quedan atrapados en la capa de grava. Los filtros se identifican con números según su participación en el sistema, así se tiene que el flujo es del filtro 1 al filtro 2 y al filtro 3. (Figura 3)

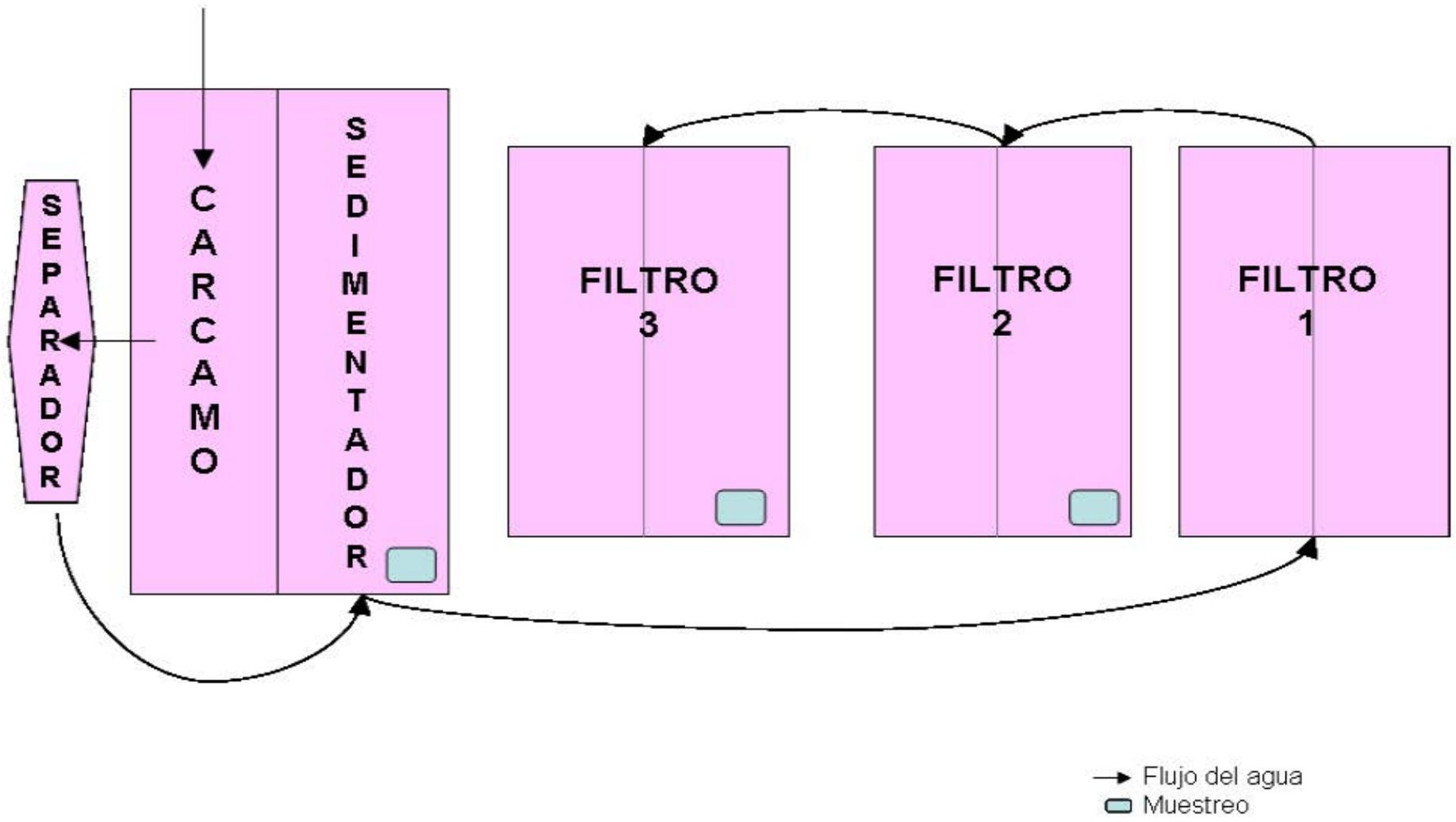


Figura 1. Esquematización del Sistema de Tratamiento.

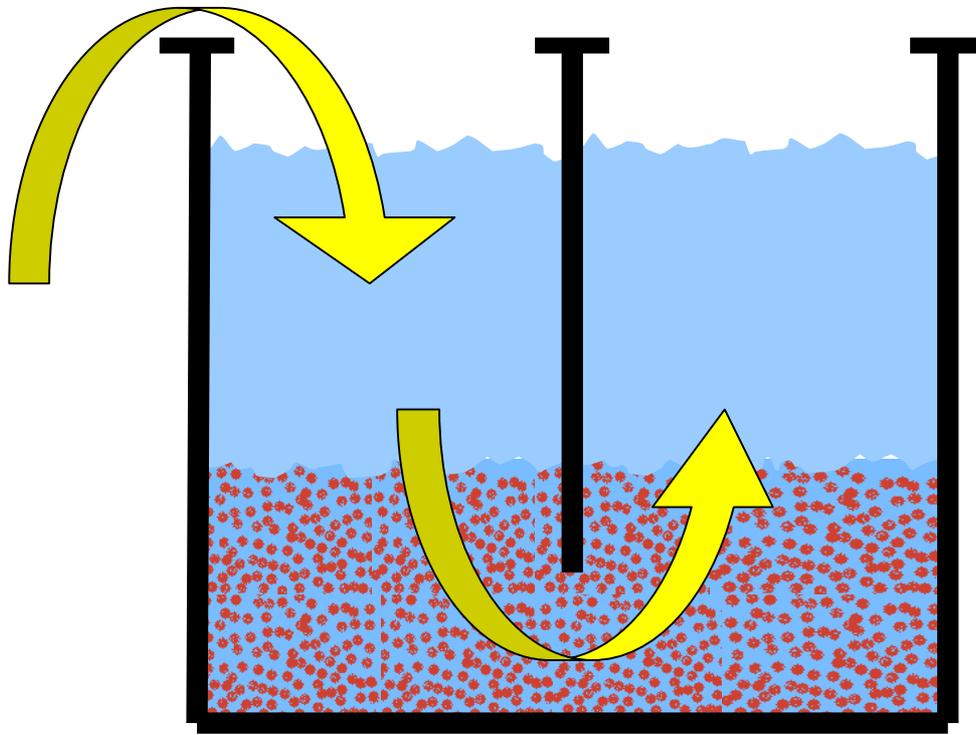


Figura 2. Estructura del filtro y flujo del agua.

MUESTREO

Para el presente estudio se tomaron muestras del Sedimentador, del Filtro 2 y del Filtro 3, todos los martes durante cuatro semanas. Se analizó el contenido mineral y nitrogenado a dos diferentes niveles en cada fosa, es decir en el fondo y en la parte media. El método de muestreo comprende la toma de líquido con una de las bombas en cuatro puntos, para al final obtener dos muestras por cada nivel de la fosa. Para obtener la muestra se utilizó una bomba eléctrica móvil conectada a un tubo de PVC de pulgada y media.. Primero se tomaran las muestras de la parte media de las fosa, para lo que se

elevara la bomba eléctrica, y después las correspondientes al fondo. Las muestras se recolectaron en frascos de plástico de un litro con tapa de rosca y se identificaron con plumón indeleble. Se cuidó de tapar correctamente los frascos y se transportaron en refrigeración al Laboratorio de Bromatología del Departamento de Nutrición Animal y Bioquímica de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UNAM. De cada fosa se obtuvo, en cada muestreo, cuatro muestras, dos de la parte media y dos del fondo, ya en el laboratorio cada muestra se trabajo por duplicado. Así, para cada muestreo se obtuvieron 24 datos en total.



Figura 3. Filtros



Figura 4. Muestreo

PROCESAMIENTO DE LAS MUESTRAS

Una vez en el Laboratorio de Bromatología del Departamento de Nutrición Animal y Bioquímica de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UNAM, la muestras se mantuvieron en refrigeración y se efectuaron los siguientes pasos (Figura 5):

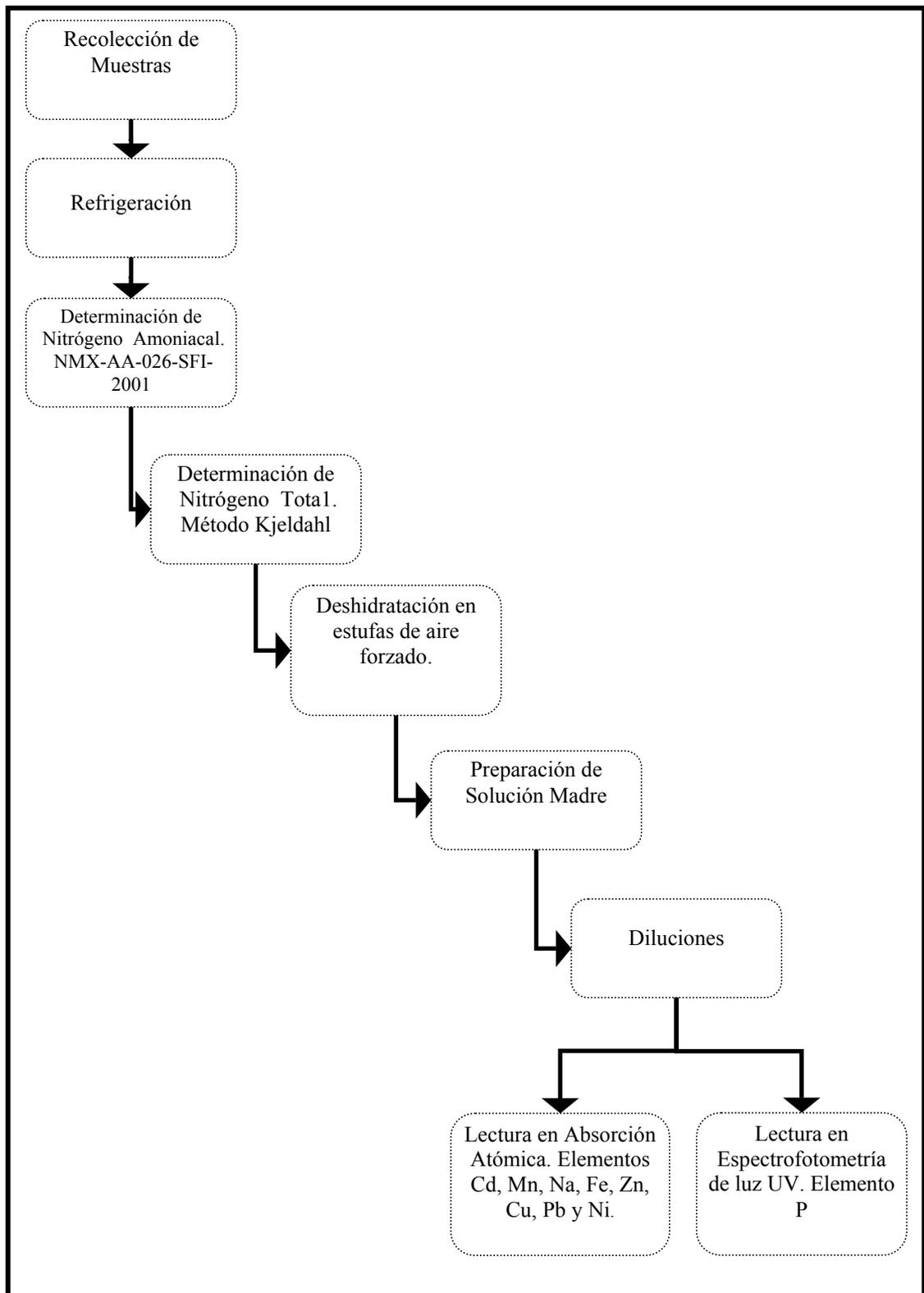


Figura 5. Diagrama del procesamiento de las muestras.

1.Determinación de Nitrógeno Amoniacal. NMX-AA-026-SCFI-2001³². En este método los compuestos nitrogenados de la muestra se descomponen con ácido sulfúrico concentrado en caliente, transformándose el nitrógeno de la mayoría de los grupos funcionales orgánicos en amonio. Cuando la descomposición se ha completado la disolución se enfría, se diluye y se alcaliniza con hidróxido de sodio concentrado. El amoniaco liberado se destila y se adsorbe en una disolución de concentración conocida de ácido bórico.

1.1. Reactivos y Soluciones

- Disolución indicadora de ácido bórico.-Pesar aproximadamente 20 g de ácido bórico seco disolver en 500 ml agua, agregar 10 ml de la mezcla de indicadores y diluir a 1 litro, preparar mensualmente.
- Disolución de tetraborato de sodio (0,025M).- Pesar con precisión 9,50 g de tetraborato de sodio decahidratado en 50 ml de agua y llevar a 1 litro con agua posteriormente.
- Disolución amortiguadora de boratos. Añada 88 ml de la disolución de NaOH 0,10 N a 500 ml de disolución de tetraborato de sodio 0,025 M y diluya a 1 litro en un matraz aforado.
- Disolución de hidróxido de sodio (0,10 N).- Pesar aproximadamente 4 g de hidróxido de sodio y disolver en 500 ml de agua, dejar enfriar a temperatura ambiente y llevar a 1 litro
- Disolución valorada de ácido sulfúrico (0,02 N).- Preparar una disolución de ácido sulfúrico aproximadamente 0,1 N diluyendo 3ml de ácido sulfúrico concentrado en 1 litro de agua. Diluir 200ml de esta disolución en 1 litro de agua. Titular el ácido sulfúrico 0,02 N con carbonato de sodio, pesando con precisión 0.0318 g de carbonato de sodio anhídrido. Calcular la normalidad exacta de la disolución (1 ml = 0,28 mg de N-amoniaco).
- Mezcla de indicadores.- Pesar aproximadamente 200,0 mg de indicador rojo de metilo aforar a 100 ml con alcohol etílico. Pesar aproximadamente 100,0 mg de indicador azul de metileno y aforar a 50

ml con alcohol etílico. Mezclar las dos disoluciones en un frasco de vidrio..

- Disolución reactivo de hidróxido - tiosulfato de sodio.- Pesar con precisión 500,0 g de hidróxido de sodio y 25,0 g de tiosulfato de sodio pentahidratado disolver en agua libre de amoníaco y llevar a 1 litro..
- Disolución de hidróxido de sodio (6 N).- Pesar aproximadamente 240,0 g de hidróxido de sodio y llevar a 1 litro con agua libre de amoníaco.

1.2. Procedimiento.

- Antes de comenzar se debe limpiar el equipo destilador del Aparato Kjeldahl, colocando una mezcla (1:1) agua –disolución de hidróxido-tiosulfato de sodio en el matraz Kjeldahl, se prende el aparato y se espera hasta que el destilado esté libre de amonio.
- Se coloca en un matraz Kjeldahl los 15 ml de muestra, 3 perlas de ebullición y se diluye con agua hasta completar 500ml. Se debe de trabajar con un Blanco utilizando en lugar de muestra agua.
- Se añade 25ml de la disolución amortiguadora de boratos al matraz Kjeldahl y se ajusta el pH a 9.5 con disolución de hidróxido de sodio 6 N, utilizado papel indicador para verificar.
- Se conecta el matraz Kjeldahl al bulbo del destilador, se destila la muestra, recolectando el condensado con la punta del tubo del refrigerante sumergido en un matraz Erlenmeyer con 50ml de la disolución amortiguadora de boratos y 10 gotas de mezcla de indicadores..
- La destilación se completa cuando en el matraz Erlenmeyer se haya recolectado 200ml del destilado, incluyendo los 50ml de la disolución amortiguadora de boratos con la disolución mezcla de indicadores.
- Se retira el matraz Erlenmeyer y se titula con solución de ácido sulfúrico 0.2N hasta que la solución vire de un color verde esmeralda a un color morado.

1.3. Calculo de los resultados.

Se utilizo la siguiente ecuación para calcular la concentración de Nitrógeno Amoniacal de la muestra:

$$\text{mg NH}_3\text{-N/L} = (A-B)(N) (14) (1000)/ V$$

Donde:

A= ml de ácido sulfúrico gastados en la titulación de la muestra

B= ml de ácido sulfúrico gastados en la titulación del blanco

N= normalidad del ácido sulfúrico

V= ml de la muestra

14= peso equivalente del nitrógeno

2.Determinación de Nitrógeno Total. Adaptación del método AOAC 955.04 b.

Este método determina el nitrógeno total en forma de amonio sin diferenciar si proviene de proteínas o de otra fuente no proteica.

2.1. Reactivos y Soluciones.

- Agua destilada
- Ácido sulfúrico concentrado 93-95%
- Mezcla catalizadora (mezcla de 200g de sulfato de potasio en polvo, 20g de sulfato de cobre puro y 5g de selenio metálico en polvo.)
- Solución de ácido bórico al 4% . Dilución de 40g de ácido bórico en agua destilada.
- Solución de Hidróxido de Sodio al 1+1. Dilución de 500g de hidróxido de sodio en 500ml de agua destilada.
- Indicador verde de bromocresol
- Indicador Fenolftaleína. Dilución de 5 g de fenolftaleína en 500ml de etanol al 96%, aforados a un litro con agua destilada.
- Solución valorada de ácido clorhídrico 1,0 N. En un matraz volumétrico con capacidad de 2000ml agregar 500ml de agua destilada medir con un probeta 17.2ml de ácido Clorhídrico (la concentración del reactivo deberá ser de 36.5 a 38%, para dar la normalidad deseada). Aforar a dos litros.

2.2. Procedimiento.

- En un vaso de precipitados se miden 15ml de muestra y se pesan en un balanza granataria.
- Se coloca en un matraz Kjeldahl los 15 ml de muestra, 3 perlas de ebullición, 1g de mezcla catalizadora y 20ml de ácido sulfúrico.
- Colocar el matraz Kjeldahl en el digestor del aparato Kjeldahl y se calienta hasta que la muestra se clarifica. El tiempo es distinto según la densidad de las muestras.
- Retirar el matraz, taparlos con los tapones de hule y dejar enfriar.
- Añadir 400ml de agua (puede ser potable), se debe de deslizar por la pared del matraz para minimizar la reacción exotérmica que se genera. Se debe de usar guantes de asbesto.
- Colocar en el matraz Erlenmeyer de 500 ml, 50ml de ácido bórico al 4% y 3 gotas de verde de bromocresol y colocarlo en el condensador del Aparato Kjeldahl, cuidando que la punta del condensador se encuentre dentro del matraz
- Agregar al matraz Kjeldahl 10 gotas de fenolftaleína y 40ml de hidróxido de sodio al 1+1, teniendo cuidado al verterlo. Mezclarlo suavemente con movimientos circulares, el contenido debe tornarse color rosa-violáceo. de no presentarse el vire de color agregar 10 ml más de hidróxido de sodio.
- Inmediatamente se coloca el matraz Kjeldahl el destilador y se calienta hasta que todo el Amonio (NH₃) haya destilado, para esto bastara que el destilado recolectado en el matraz Erlenmeyer sea de 200ml. Al irse completado la destilaciones contenido del matraz Erlenmeyer cambiará gradualmente de verde a azul.
- Finalmente se titula el contenido del matraz Erlenmeyer con la ayuda de la bureta, con solución valorada de HCl al 0.1 N, el contenido debe de tornarse de azul a verde.

2. 3. Cálculo de Resultados.

Para calcular la cantidad de Nitrógeno Total en la muestra se aplica la siguiente formula:

$$\%N \text{ Total} = \frac{\text{ml de HCl} * N \text{ del ácido} * 0.014}{\text{g muestra}} * 100$$

Donde:

ml HCl = ml de HCl 0.1 gastados en la titulación

N= Normalidad del HCl

0.014 = meq de N/100

g muestra = grs de muestra usados para el procedimiento.

3. Obtención de sólidos por deshidratación de la muestra.

3.1. Procedimiento.

- Se agitan los frascos que contienen la muestras con el fin homogenizarlas.
- En la probeta se miden 500ml de la muestra.
- En un vaso de precipitados de 500ml (Tara), previamente pesado se verta la muestra medida, cuidando que no queden restos en la probeta, y se registra el peso de la muestra y el vaso en la balanza granataría.
- El vaso de precipitados con la muestra se introduce en la estufa de aire forzado, se mantiene a una temperatura de 80°C, hasta que se haya evaporado toda el agua dejando solo los sólidos de la muestra.
- Se retira el vaso de precipitados, se deja enfriar y se registra su peso.
- Se remueve con la espátula los sólidos que quedaron adheridos en el vaso de precipitados y se recolectan en un bolsa de plástico con la ayuda del cepillo y la brocha, cuidando de limpiar a fondo el material entre cada muestra.
- En la mayoría de las muestras fue necesario repetir el procedimiento ya que los sólidos recolectados eran insuficientes para realizar los análisis consecutivos.

- Una vez recolectada toda la muestra en la bolsa de plástico previamente identificada se procede a molerla en el mortero buscando que se tengan partículas homogéneas.

3.2. Cálculo de los resultados.

3.2.1. Densidad real. Se aplicó la siguiente formula:

$$D_s = P / V$$

Donde:

D_s = Densidad real

P = Peso de la muestra

V = Volumen de la muestras

3.2.2. Porcentaje de materia seca. Se aplico la siguiente ecuación.

$$\%MS = \frac{(PMD - PT)}{(PMF - PT)} * 100$$

Donde:

PMD = Peso de la muestra deshidratada

PT = Peso de la Tara (vaso de precipitados)

PMF = Peso de la muestra fresca

3.2.3.. Gramos de sólidos por litro de agua. Se aplicó la siguiente ecuación.

$$g/L = (D_s * \%MS)/100$$

Donde:

g/L = Gramos de sólidos por litro de muestra

D_s = Densidad de la muestra

$\% MS$ = Porcentaje de materia seca de la muestra

4.Preparación de Solución Madre. En este método se realiza una digestión de la materia orgánica de la muestra con ácidos y calor lo que hace legible los elemento minerales.

4.1. Reactivos y Soluciones.

- Agua destilada
- Ácido nítrico grado reactivo
- Ácido Perclórico grado reactivo

4.2. Procedimiento

- Se pesó 0.5 g. en la balanza analítica de la muestra obtenida de la deshidratación. Para algunos casos la muestra obtenida en la deshidratación no fue suficiente para pesar 0.5 g, y se debió pesar 0.25g. y en algunos casos 0.10 g.
- Se coloca la muestra pesada en el vaso de precipitados
- Dentro de la campana de extracción, a un vaso de precipitados se le agrega con ayuda de pipetas volumétricas 5ml de ácido nítrico y 3ml de ácido perclórico. Se debe de trabajar con guantes y cuidando que la campana este en funcionamiento.
- Se tapan los vasos de precipitados con los vidrios de reloj y se colocan en la platina de calentamiento con el fin de generar la digestión de la materia orgánica. Ahí permanecerán alrededor de 20 minutos, hasta que los vapores que desprendan cambien de una coloración anaranjada a una blanca.
- Se retiran los vasos de platina con ayuda de pinzas de disección y se dejan enfriar. Es importante estar pendiente de que los vapores no escapen y siempre tener prendida la campana de extracción.
- Una vez frío, se utiliza embudo y el papel filtro Whatman No. 1 para filtrar el contenido del vaso de precipitado en los matraces volumétricos de 10ml. Se utiliza agua destilada para aforar a 10 ml el filtrado. Al resultado de la filtración se llamará solución madre.
- Se vierte el contenido de los matraces volumétricos en frascos de plástico de 20ml previamente identificados. Los frascos se deben cerrar herméticamente para evitar la evaporación de la solución madre.

5. Preparación de Diluciones

5.1. Soluciones

- Agua destilada

5.2. Procedimiento

5.2.1. Primera dilución

- Con ayuda de la pipeta volumétrica se tomó 3ml de la solución madre y se vertieron en un matraz volumétrico de 50ml. Se debe de cambiar de puntilla plástica entre cada muestra.
- Con agua destilada se aforo la Solución madre del matraz volumétrico a 50ml. Se tapo el matraz y se homogenizo para después verter el contenido en frascos de plástico, se identificaron y cerraron herméticamente.

5.2.2. Segunda dilución

- Con ayuda de la pipeta volumétrica se tomó 2ml de la primera dilución y se vertieron en un matraz volumétrico de 100ml. Se debe de cambiar de puntilla plástica entre cada muestra.
- Con agua destilada se aforaron 2ml de la primera dilución en el matraz volumétrico a 100ml. Se tapo el matraz y se homogenizo para después verter el contenido en frascos de plástico, se identificaron y se cerraron herméticamente.
- Debido a la concentración del elemento en la solución madre, las lecturas se realizaron como sigue:

Solución Madre	Primera dilución (3ml en 50ml de agua destilada)	Segunda dilución (2ml en 100ml de agua destilada)
<ul style="list-style-type: none">• Cd• Pb• Ni	<ul style="list-style-type: none">• Cu• Fe• Zn• Mn• P	<ul style="list-style-type: none">• Na

6. **Lectura en Espectrofotometría de Absorción Atómica.** Este método se basa en el fenómeno físico en el cual un elemento es capaz de absorber líneas de emisión del mismo elemento por medio de flamas de aire acetileno o de acetilo de óxido nítrico. La cantidad de luz absorbida en la flama es proporcional a la concentración del elemento en la muestra.

6.1. Reactivos y Soluciones

- Soluciones Madres y diluciones
- Soluciones Estándar para cada elemento (soluciones de cantidades conocidas del elemento a medir en ppm)
- Agua destilada

6.2. Procedimiento.

- Se enciende el Espectrofotómetro de Absorción Atómica (EAA), y se coloca la lámpara del elemento a medir. Se calibra según el instructivo.
- Se hace lectura de los estándares recomendados para el elemento a medir según el instructivo del EAA.
- Se realiza la lectura de la muestra.
- El procedimiento es el mismo para cada elemento a medir.

6.3. Cálculo de los resultados.

6.3.1. Concentración del elemento. Para calcular la concentración del elemento a medir en los gramos de muestra utilizada en la solución madre, se aplico la siguiente ecuación.

$$CE = \left[\frac{((LA - O)/P) * aforo * 2 aforo}{g muestra} \right] / alicuota$$

Donde:

CE = Concentración del elemento medido en los g digeridos en la solución madre

LA = Lectura reportada en EAA

O = Ordenada obtenida de la lectura de los estándares del elemento a medir

P = Pendiente obtenida de la lectura de los estándares del elemento a medir

aforo= ml de solución madre que se obtuvo (10ml)

2 aforo = ml que se obtuvieron al realizar la primera dilución (50ml)

g de muestra = gramos de muestra que fueron digeridos para obtener la solución madre

alícuota = ml de solución madre que se tomaron para realizar la primera dilución (3ml)

6.3.2. mg/L del elemento. Para calcular los mg del elemento que hay en un litro de las aguas residuales se utilizó la siguiente ecuación.

$$\text{Mg/L} = ((\text{CE} * \text{g/L}) / \text{g Dgs}) / 1000$$

Donde:

Mg/L = mgs del elemento medido que hay en un litro la muestra (agua residual)

CE =Concentración del elemento en los grs. de muestra que fueron utilizados en la solución madre

g./L = g. de sólidos obtenidos después de la deshidratación por un litro de muestra

g. Dgs = g. de muestra que fueron usados para preparación de la solución madre

7. Lectura en Espectrofotometría de Luz Ultravioleta. Adaptación de método

AOAC 965.17 (1990). Este método cuantifica fotométricamente el contenido de fósforo total haciendo llegar una misma intensidad de luz a la solución problema y a un blanco para determinar por medio de un fotomultiplicador y un registrador, la relación haz transmitido/haz incidente en forma directa o en forma logarítmica.

7.1. Reactivos y Soluciones

- Agua destilada
- Molibdo-vanadato.- Se disuelve 40g de molibdato de amonio en 400ml de agua destilada caliente y se deja enfriar. Aparte se disuelve 2g de metavanadato de amonio en 250ml de agua destilada, enfriar; se mide y añade 450ml de ácido clorhídrico añadir gradualmente y con agitación constante la solución de molibdato sobre la de vanadato y finalmente diluir a 2 litros, se conserva en frasco de vidrio color ámbar. Se debe de valorar la ordenada y la pendiente de esta solución mediante regresión lineal.
- Dilución de la solución madre (tomando 3ml y aforada a 50ml)

7.2. Procedimiento.

- Con ayuda de la pipeta volumétrica y la perilla se toma 1ml de la dilución de la Solución Madre y se vierte en el matraz volumétrico.
- Se añaden al matraz 10ml de solución de molibdo-vanadato y se afora a 50ml. Se tapan y agitan. Se deja pasar 10 minutos.
- Con el contenido del matraz volumétrico se llena una celda de cuarzo, se coloca en el Espectrofotómetro de luz ultravioleta (UV) visible y se realiza la lectura. Se debe de trabajar al mismo tiempo un blanco.

7.3. Cálculo de los resultados

Para obtener la concentración de P de cada muestra se aplica la siguiente formula:

$$\%P = \left[\frac{(\text{Lectura-Ordenada}) * \frac{100}{g}}{\frac{\text{Pendiente}}{1000}} \right] * 100$$

Donde:

%P= Porcentaje de Fósforo por muestra

Lectura = Cantidad reportada en el Espectrofotómetro UV visible

Ordenada = Ordenada obtenida de la curva de la solución de molibdo-vanadato
Pendiente = Pendiente obtenida de la curva de la solución de molibdo-vanadato
g = Gramos muestra utilizados para la preparación de la Solución Madre.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Con los valores obtenidos en cada estructura y profundidad de las variables Sólidos(g/L), Cu, Fe, Zn, Mn, Cd, Pb, Ni y P N-NH₃, N Total y Na se realizó un análisis descriptivo de media y desviación estándar.

Con el objetivo de detectar diferencias en los valores promedios de las tres estructuras y las dos profundidades para cada elemento se realizó un análisis de varianza correspondiente a un modelo factorial entre las estructuras (Sedimentador, Filtro 2 y Filtro 3) y las profundidades a las que se tomaron las muestras (Parte media y Fondo). El modelo estadístico correspondiente para cada elemento es:

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}, \quad 1 \leq i \leq 3, \quad 1 \leq j \leq 2, \quad 1 \leq k \leq 2.$$

Donde:

y_{ijk} = valor de la variable respuesta Y observado en la k -ésima repetición en la j -ésima profundidad de la i -ésima estructura, es una variable aleatoria con media $\mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij}$, varianza σ^2 y son no correlacionados, $1 \leq i \leq 3$, $1 \leq j \leq 2$, $1 \leq k \leq 2$.

μ = efecto de la media general, valor desconocido.

α_i = efecto de la i -ésima estructura, valor desconocido, $1 \leq i \leq 3$.

β_j = efecto de la j -ésima profundidad, valor desconocido, $1 \leq j \leq 2$.

$(\alpha\beta)_{ij}$ = efecto de la i -ésima estructura y j -ésima profundidad, valor desconocido, $1 \leq i \leq 3$ y $1 \leq j \leq 2$.

ϵ_{ijk} = error experimental, variable aleatoria que tienen media igual a cero, varianza σ^2 y son no correlacionados, $1 \leq i \leq 3$, $1 \leq j \leq 2$, $1 \leq k \leq 2$.

Para realizar dicho análisis se utilizó el paquete computacional JMP⁴⁴.

Las concentraciones promedio reportadas en el Sedimentador, para cada uno de los elementos monitoreados, se confrontaron con los reportados en el Filtro 3, para obtener el Porcentaje de Retención para cada elemento.

3. RESULTADOS

En el Cuadro 1 se muestra los valores obtenidos de las medias y desviaciones estándar de elementos medidos en cada una de las estructuras: Sedimentador (SD), Filtro 2 (F2) y Filtro 3 (F3), a lo largo de las cuatro semanas de muestreo.

En la concentración de sólidos presentes en un litro de muestra (Sólidos g/L) los datos se mantuvieron en un rango de 4.22 a 60.33 g/L, en las semanas 1, 2, y 3 los datos se presentaron constantes, siendo en la semana 4 en donde se puede observar una elevación en la cantidad reportada para la estructura SD, coincidiendo con el valor mas alto de todo el muestreo. Existió una desviación estándar muy grande en la mayor parte de mediciones efectuadas, incluso el caso del Fe la variación fue superior al promedio.

Para el elemento Cu el intervalo se mantuvo entre 0.51 y 12.74 mg/L, para Fe entre 9.43 y 240.15 mg/L, para Zn entre 1.79 y 98.09 mg/L, para Mn 1.14 y 13.17 mg/L, para Cd 0.19 y 4.01 ug/L, para Pb 0.19 y 4.51 ug/L, para Ni 0.28 y 4.26 mg/L, para P 39.52 y 395.52 mg/L y para Na 364.74 y 2684.48 mg/L. Cabe señalar que para todos estos elementos los rangos máximos se presentaron en la semana cuatro de muestreo en la estructura del Sedimentador, donde se puede apreciar un incremento considerable, y los valores mínimos para la mayoría de los elemento se presentaron en la primer semana de muestreo en el estructura del Filtro 2.

El elemento N total presentó un intervalo de valores entre 899.5 y 1575 mg/L, de igual forma el valor mínimo se observó en la primera semana de muestreo en la estructura del Filtro 3 y el valor máximo se registro en la cuarta semana de muestreo en la estructura del Sedimentador, aunque dicho incremento no fue considerable.

Los datos que se presentan en el Cuadro 1, promedian los valores del Fondo y Parte media de cada estructura, lo que provoca que las desviaciones estándar sean muy amplias, ya que como se expone mas adelante, el nivel en el que se tomaron las muestras modifica considerablemente los valores reportados.

Cuadro 1
MEDIA Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE CONCENTRACIÓN DE
ELEMENTOS (mg/L) EN CADA ESTRUCTURA EN LAS CUATRO SEMANAS
DE MUESTREO

<i>Elemento</i>	<i>Estructura</i>	<i>Semana</i>			
		<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
Sólidos g/L	SD	4.60 ±1.66	7.26 ± 1.95	7.16 ± 0.55	60.33 ± 40.41
	F2	5.68 ± 3.35	9.4 ± 6.55	8.28 ± 3.54	6.06 ± 2.63
	F3	4.21 ± 0.88	7.33 ± 3.86	4.7 ± 0.21	8.88 ± 5.93
Cu	SD	1.99 ± 2.66	0.63 ± 0.29	2.24 ± 0.66	12.74 ± 9.83
	F2	0.51 ± 0.46	3.55 ± 3.72	3.96 ± 3.76	1.68 ± 1.47
	F3	0.96 ± 0.73	0.91 ± 0.45	0.75 ± 0.6	3.51 ± 3.5
Fe	SD	18.01 ± 19.25	9.43 ± 4.07	32.25 ± 8.35	240.15 ± 235.03
	F2	11.27 ± 6.4	83.04 ± 92.61	77.16 ± 74.67	23.88 ± 21.13
	F3	33.65 ± 25.24	39.87 ± 9.37	21.52 ± 17.74	135.15 ± 157.89
Zn	SD	6.79 ± 6.89	3.79 ± 2.15	13.05 ± 3.35	98.09 ± 67.36
	F2	1.79 ± 1.38	17.56 ± 16.63	18.29 ± 15.59	7.76 ± 5.28
	F3	4 ± 2.64	4.47 ± 1.36	6.47 ± 2.24	13.71 ± 12.48
Mn	SD	3.24 ± 3.32	1.55 ± 0.97	5.02 ± 0.96	34.23 ± 23.93
	F2	1.14 ± 0.84	14.64 ± 14.73	12.68 ± 11.04	1.80 ± 0.5
	F3	2.85 ± 1.73	3.64 ± 0.92	2.88 ± 2.25	2.33 ± 0.36
Cd (µg/l)	SD	0.68 ± 0.32	0.19 ± 0.07	2.99 ± 0.93	4.01 ± 0.97
	F2	0.31 ± 0.14	0.81 ± 0.06	1.21 ± 1.07	0.91 ± 0.62
	F3	0.5 ± 0.16	0.25 ± 0.04	1.35 ± 0.34	1.29 ± 0.19
Pb	SD	0.39 ± 0.29	0.25 ± 0.25	0.83 ± 0.3	4.51 ± 5.58
	F2	0.19 ± 0.13	0.72 ± 0.2	0.74 ± 0.33	0.53 ± 0.2
	F3	0.34 ± 0.16	0.33 ± 0.15	0.59 ± 0.14	0.46 ± 0.11
Ni	SD	0.54 ± 0.43	0.33 ± 0.24	1.57 ± 0.18	4.26 ± 3.94
	F2	0.23 ± 0.22	1.51 ± 0.88	0.74 ± 0.79	0.65 ± 0.19
	F3	0.28 ± 0.17	0.43 ± 0.29	1.22 ± 0.3	0.64 ± 0.15
P	SD	59.62 ± 48.06	54.2 ± 7.38	82.5 ± 20.6	395.52 ± 399.8
	F2	39.52 ± 34.71	220.28 ± 225.65	161.06 ± 142.09	99.25 ± 78.36
	F3	48.44 ± 25.4	59.77 ± 36.99	40.56 ± 16.77	200.22 ± 187.83
N-NH3	SD	2.70 ± 0.10	2.75 ± 0.11	2.99 ± 0.48	2.65 ± 0.08
	F2	3 ± 1.05	2.57 ± 0.14	2.60 ± 0.17	2.53 ± 0.13
	F3	2.22 ± 0.16	2.42 ± 0.1	2.49 ± 0.13	2.31 ± 0.10
N Total	SD	1197 ± 153.91	1403.5 ± 94.52	1443.2 ± 102.48	1575 ± 400.78
	F2	1067.5 ± 210.24	1300.83 ± 312.67	1283.33 ± 98.9	1030.17 ± 104.76
	F3	899.5 ± 46.52	1090.83 ± 178.17	1057 ± 23.27	1068.67 ± 236.54
Na	SD	1093.3 ± 923.05	713.26 ± 964.92	1232.37 ± 491.9	2684.48 ± 3543.51
	F2	364.74 ± 410.44	1033.01 ± 447	1305.9 ± 436.45	810.79 ± 385.52
	F3	657.18 ± 331.94	737.91 ± 620.53	1349.6 ± 221.78	778.5 ± 404.28

Se encontró que el elemento mas abundante en el Sistema de Sedimentación y Filtración fue el N Total, ya que a lo largo de las cuatro semanas de muestreo presentó una concentración promedio de 1201.38 mg/L, seguido del Na que promedio un valor de 1063.42 mg/L, P reportó 121.74 mg/L, Fe 60.45 mg/L, Zn 16.31 mg/L, Mn 7.18, Cu 2.79 mg/L, N-NH3 2.60 mg/L, Ni 1.03 mg/L, Pb 0.68 mg/L y Cd 0.001 mg/L. Cuadro 2.

El análisis estadístico comparativo de la concentración de cada elemento para cada estructura (Sedimentador, Filtro 2 y Filtro 3) en los dos niveles (fondo y parte media), se muestra en el Cuadro 3.

Se observa que las cantidades de Sólidos (g/L) reportadas en el SD-Fondo y F2-Medio son similares ($P < 0.05$) a las reportadas en el SD-Medio y F2-Medio, y a su vez diferentes ($P < 0.05$) a las de F3 tanto en la Fondo como en la parte Media.

Los elementos Fe, Mn, Pb, Ni y P no presentaron diferencia ($P > 0.05$) en los valores reportados para ninguna de las Estructuras y ninguno de los niveles.

Cuadro 2. Concentración promedio (mg/L) de elementos minerales en el Sistema de Sedimentación y Filtración

<i>Elemento</i>	<i>mg/L</i>
N Total	1201.38
Na	1063.42
P	121.74
Fe	60.45
Zn	16.31
Mn	7.18
Cu	2.79
N-NH3	2.60
Ni	1.03
Pb	0.68
Cd	0.001

La concentración de Cu en el SD-Fondo fue similar a la de F2-Fondo y F3-Fondo ($P < 0.05$), y diferentes ($P < 0.05$) a la concentración correspondiente a SD-Medio, F2-Medio y Filtro3-Medio.

En la concentración de Zn la cantidad encontrada en el SD-Fondo es similar ($P < 0.05$) a la reportada en la SD-Medio y F2-Fondo, y diferente ($P < 0.05$) a las encontradas en el F2-Medio, F3-Medio y Fondo.

Para el Cd, solo los datos encontrados en el Sedimentador-Fondo son estadísticamente diferente a los encontrados en el resto de las estructuras.

El N-NH₃ las cantidades reportadas en el SD-Fondo y F2-Medio son similares ($P < 0.05$) a los reportados en el SD-Medio y F2-Fondo, y diferentes a los reportados en F3-Medio y Fondo.

El N Total presentó similitud ($P < 0.05$) en los datos reportados para cada estructura y nivel, a excepción del Sedimentador-Medio y Filtro2-Fondo donde los datos difieren ($P > 0.05$) del resto.

La cantidad reportada de Na en la Estructura SD-Medio es similar ($P < 0.05$) a la encontradas en SD-fondo, F2-Medio y F3-Medio, y diferente ($P < 0.05$) de las reportadas en F2-Fondo y F3-Fondo. Cabe señalar las cantidades mayores de Na fueron reportados en las parte media de las Estructuras, contrario a lo que ocurrió con la mayoría de los elementos en donde fueron mayores los valores reportados en la parte del fondo en comparación con los de la parte media de cada estructura.

Cuadro 3. Concentración promedio (mg/L) de elementos minerales en dos niveles Fondo y Medio de las estructuras Sedimentador, Filtro 2 y Filtro 3.

	Sedimentador		Filtro 2		Filtro3	
	Fondo	Medio	Fondo	Medio	Fondo	Medio
Sólidos (g/L)	27.435 a	12.236 ab	10.062 ab	4.644 b	8.790 b	3.822 b
Cu	6.689 a	2.111 b	3.846 ab	1.004 b	2.790 ab	0.458 b
Fe	115.663 a	34.25 a	72.89 a	24.78 a	102.688 a	18.12 a
Zn	42.35 a	18.49 ab	16.92 ab	5.77 b	10.92 b	2.97 b
Mn	14.43 a	7.58 a	11.06 a	4.11 a	3.88 a	2.38 a
Cd	2.27 a	0.724 b	0.781 b	0.633 b	0.788 b	0.672 b
Pb	0.349 a	1.506 a	0.620 a	0.472 a	0.363 a	0.443 a
Ni	1.7928 a	1.559 a	1.048 a	0.513 a	0.651 a	0.631 a
P	196.047 a	99.871 a	198.083 a	61.954 a	152.076 a	26.305 a
N-NH₃	2.859 a	2.682 ab	2.553 ab	2.798 a	2.393 b	2.331 b
N Total	1518.416a	1290.916b	1290.333b	1050.583cd	1157.916bc	928.083 d
Na	882.950ab	1978.76 a	707.954 b	1049.267ab	481.881 b	1110.604ab

a, b, c, d literales distintos en un mismo reglón indican diferencia ($P < 0.05$)

En el Cuadro 4 muestra el efecto de las Estructuras, la Profundidad y la interacción de ambos para la retención de cada elemento monitoreado.

Se puede observar que para la cantidad de Sólidos (g/L) presenta una alta influencia ($P < 0.01$) tanto de la Estructura como de la Profundidad, aunque no se presentó interacción de ambos factores. De esta misma manera se comportaron los elementos Zn, Mn y Nitrógeno Total.

Cuadro 4. Efecto de la estructura (Sedimentador, Filtro2 y Filtro 3), profundidad (Fondo y Parte Media) y su interacción en la concentración de elementos minerales en el Sistema de Filtración y Sedimentación

	Sólidos g/L	Cu	Fe	Zn	Mn	Cd	Pb	Ni	P	N- NH3	N total	Na
Estructura	**	**		**	**	**		*			**	
Profundidad	**	*	**	**	**	**			*	**	**	*
Estructura x Profundidad						**						

* $P < 0.05$ ** $P < 0.01$

Para Cu el efecto de la Estructura fue importante ($P < 0.01$), para la Profundidad también se presentó efecto pero en menor grado ($P < 0.05$) y no se presentó interacción entre ambas.

Los valores registrados para los elementos Fe y N-NH₃ solo presentaron efecto marcado de la Profundidad ($P < 0.01$), mientras que la Estructura y la interacción de Estructura-Profundidad no tuvieron ningún efecto ($P > 0.05$) sobre el comportamiento de los valores reportados.

En P y Na la Profundidad presentó efecto ($P < 0.05$) sobre los valores, y no existió influencia ($P > 0.05$) de la Estructura ni de la interacción Estructura-Profundidad.

El elemento Ni solamente mostró efecto ($P < 0.05$) de la Estructura sobre los valores cuantificados y no hubo efecto de la Profundidad ni de la interacción Estructura-Profundidad ($P > 0.05$).

Sobre la concentración de Pb no tuvo efecto ($P>0.05$) ninguno de los factores, en cambio sobre la concentración de Cd fueron altamente significativos ($P<0.01$) todos los factores, es decir la Estructura, la Profundidad y fue el único elemento que presentó una interacción Estructura-profundidad con significancia ($P<0.01$).

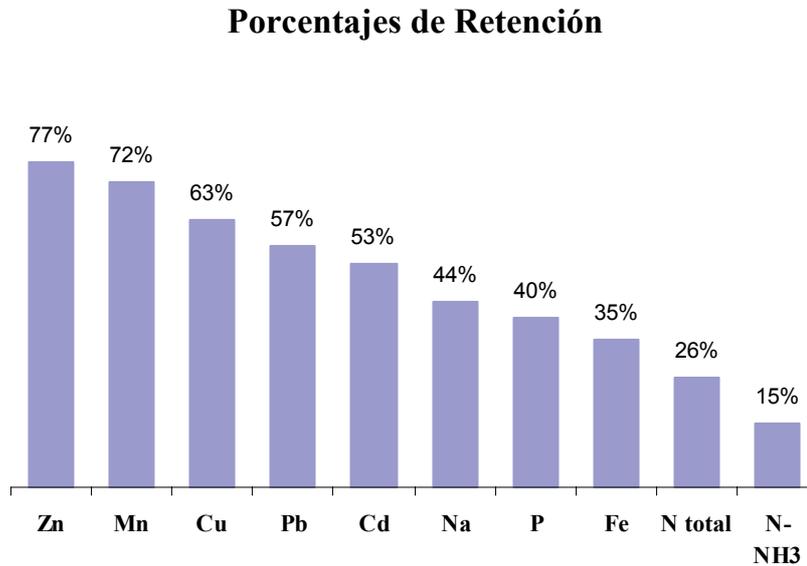


Figura 6. Porcentaje de retención que mostró el Sistema de Sedimentación y Filtración para cada uno de los elementos monitoreados.

En la Figura 6 grafica el porcentaje de retención que presentó el Sistema de Filtración y Sedimentación para cada uno de los elementos que se monitorearon, así se puede observar que el Zn se retuvo en 77%, es decir que del Zn detectado en la estructura del Sedimentador el 77% fue retenido por el sistema Filtración Sedimentación y ya no estuvo presente en la Estructura del Filtro 3. Los elementos Zn, Mn, Cu, Ni, Pb y Cd presentaron porcentajes mayores al 50% de retención y mientras que el resto de los elementos Na, P, Fe, N Total y N-NH₃ presentaron un porcentaje menor.

Cuadro 5. Concentración promedio (mg/L) de elementos minerales en el Filtro 3 y los límites máximos permisibles marcadas en la Nom-001-Ecol-1996 y Nom-127-Ssa1-1994

	Filtro3		Nom-001-Ecol-1996*	Nom-127-Ssa1-1994	Cumple
	Fondo	Medio			
Cu	2.790	0.458	4		✓
Fe	102.688	18.12	-	0.30	
Zn	10.92	2.97	20		✓
Mn	3.88	2.38	-	0.15	
Cd	0.000788	0.000672	0.4		✓
Pb	0.363	0.443	0.2-0.5		✓
Ni	0.651	0.631	4		✓
P	152.076	26.305	5-20		
N-NH3	2.393	2.331	-	.50	
N Total	1157.916	928.083	15-40		
Na	481.881	1110.604	-	200	

*Promedio mensual

En el Cuadro 5 se confrontan los valores promedios encontrados para cada elemento en la estructura del Filtro 3 en los dos niveles en los que fueron determinadas las concentraciones, con los valores que se marcan en las Nom-001-Ecol-1996 y Nom-127-Ssa1-1994 como límites máximos permisibles (LMP) para los elementos monitoreados en esta investigación. Se puede apreciar que los elementos Cu, Zn, Cd, y Ni están por debajo los LMP marcados por la Nom-001-Ecol-1996, mientras que el Pb se encuentra del rango marcado por esta misma norma. El resto de los elementos, Fe, Mn, P, N-NH₃, N Total y Na, se encuentra sobre los valores marcados de LMP, ya que superan con un margen muy amplio los valores que se estipulan en la normas.

4. DISCUSIÓN

Se ha reportado que el agua residual vertida por las granjas porcinas presenta grandes variaciones en su cantidad y calidad ¹³. Así las características del agua residual depende principalmente del número de cerdos o peso vivo, y de la etapa productiva de los animales: lechones, destetados, engorda, hembras, sementales. Esto se debe por un lado, a que la cantidad de heces y orina depende de la fase en que se encuentre el animal, y por otro lado a que el sistema de lavado es diferente para cada tipo de área: servicios, gestación, maternidad, destetes o engordas. Otro factor que influye es la tecnología en relación con el tipo y manejo de drenajes, y el uso de agua de lavado: rejillas, charcas, reciclaje de agua; etcétera, con el que cuenta la granja ¹³. Debido a estos factores es común que exista una alta variabilidad en la carga de contaminante de las aguas residuales dentro de una misma granja como entre distintas granjas. ^{11, 15}

Según Mariscal¹⁵ la composición de las aguas residuales depende en primera instancia de la calidad del alimento y de programas de alimentación, mientras que la cantidad de agua residual está ligada al factor instalaciones.

Con base en lo anterior se puede explicar la variación de los datos obtenidos en las semanas de muestreo (Cuadro.1), en especial lo que se refiere al aumento de concentración que se presentaron la mayoría de los minerales monitoreados en la semana 4, dentro de la Estructura del Sedimentador.

En el presente estudio, aunque la granja mantuvo una población constante de animales, en la práctica las rutinas de lavado no son siempre las mismas, lo que repercutió particularmente en el muestreo de la semana 4. Esto se debió a un menor uso de agua para el lavado de las instalaciones durante dicha semana, lo que provocó una mayor concentración de sólidos en SD; sin embargo, este factor no repercutió en los resultados de los filtros, ya que las muestras siempre fueron independientes. Por consiguiente, se debe considerar la presencia de factores externos capaces de modificar la concentración de los minerales en las distintas estructuras del sistema, como los ya mencionados.

En el caso particular del N-NH₃ no se detectaron diferencias por efecto del manejo del Sistema de Tratamiento correspondiente al cuarto muestreo. Esto se debe a que dicho compuesto tiende a volatilizarse en forma de gas, haciendo difícil su determinación en las muestras³⁵. Con ello se explica la ausencia de cambios en las concentraciones reportadas a lo largo del experimento y que el rango de los datos reportados sea estrecho, esto coincide con lo reportado con García³⁰

El hecho del que el Nitrógeno total sea el elemento con mayor presencia dentro del Sistema de Filtración y Sedimentación se explica en parte, por que es un elemento con un alto porcentaje (3%) dentro de cualquier organismo vivo³⁶. El nitrógeno presente en las aguas residuales proviene de la degradación de las proteínas y aminoácidos ingeridos por el animal^{36,37}, dicho nitrógeno se excreta principalmente en la orina (85%) y en menor grado en la heces(15%)¹⁵, donde se le encuentra en forma de urea. Por otra parte, se ha reportado la acción de microorganismos que a través de los procesos de nitrificación y/o desnitrificación modifican la concentración total de este elemento dentro de las fosas del Sistema de Filtración y Sedimentación³⁸.

Mariscal¹⁵, señala que el N que no es aprovechado por los porcinos se excreta en concentraciones significativas, en el caso de las hembras representa el 76%, para los lechones destetados 46%, esto es relevante debido a que la mayor parte de la población de la granja en estudio la representan hembras, ya que la finalidad es la producción de lechones; aunado a que la capacidad de aprovechamiento del Nitrógeno se disminuye conforme aumenta la edad de animal.

Pérez¹¹, reporta que el Nitrógeno Total representa un 27% del total de sólidos en los desechos porcinos, los valores encontrados en el Sistema de Filtración y Sedimentación representan el 48.49%, muy por encima de lo reportado.

Las grandes cantidades de Sodio presentes en el Sistema de Sedimentación y Filtración se explican debido a que en la granja es rutinariamente se encalan las instalaciones de la maternidad con una mezcla de cal (4kgs) y sal (1kg) en 10 litros de agua; de esta mezcla se preparan por lo menos 100 litros a la semana. Así, conforme se lavan de las instalaciones, la sal y la cal se desprende y termina en las fosas del Sistema, donde se

acumula. De igual forma no debe dejar de considerarse que cada tonelada de alimento para los cerdos contiene 0.3% de la Sal.

El fósforo es el tercer elemento con mayor presencia en el sistema de Sedimentación y Filtración. Esto se debe a que en esta granja, como en la mayoría, la dieta de los porcinos se basa en granos (sorgo o/y soya), y aunque estos ingredientes tienen un alto porcentaje de P, 0.31% para el sorgo y 0.63% para la soya (NRC 1998), solo una pequeña porción es disponible para los cerdos, ya que se encuentra en forma de fitatos.^{36, 40} El porcentaje de P fítico sobre el total representa entre un 60 y 80% para los cereales, lo que repercute en que gran parte del P es excretado, por lo tanto, en situaciones normales el P fítico consumido por el animal aparece en las heces casi por completo⁴⁰. El P contenido en los fitatos es muy poco disponible para los porcinos ya que carecen de la enzima fitasa, al menos en cantidad suficiente para romper y separar el P^{40, 41}. Esta enzima fitasa se encuentra en pequeñas cantidades en los mismos granos y en las secreciones intestinales⁴⁰. El fitato no degradado, gracias a su alto potencial quelante puede convertirse en complejos fitato-mineral insolubles con cationes di y trivalentes (Ca, Mn, Zn, Cu, Fe), disminuyendo así la cantidad absorbida tanto del P como de los elementos mencionados^{36, 40}. El tipo de población que tiene esta granja, al ser su fin la producción de lechones, favorece la producción de P, ya que según Peet Scwring 1999(citado por Mariscal¹⁵), las hembras excretan del P consumido el 75% y los lechones el 38%, y a esto se suma que la capacidad de retención del P disminuye conforme aumenta la edad del animal. .

La presencia de Fe se atribuye a la suplementación rutinaria que se realiza de este mineral a los lechones y hembras, ya que el Fe fecal proviene en su mayor parte del Fe dietético no absorbido y aunque no se ha especificado en que porcentaje, se sabe que existe excreción cuando se administra Fe parenteralmente, como es en el caso de los lechones³⁷.

Las cantidades promedio registradas en el resto de los minerales monitoreados, tienen su origen en la alimentación de los cerdos, ya que aunque algunos de éstos no son considerados a la hora de balancear las dietas, siempre se encuentran como parte de los

organismos, aunque en pequeñas cantidades y suelen estar presentes en las premezcla minerales que se utilizan en la elaboración de los alimentos³⁷.

En cuanto a la diferencia en los valores encontrados en el Fondo y la Parte Media de cada estructura se puede explicar que los elementos Cu, Fe, Zn, Mn, Cd, Ni, y P, registraron cantidades mayores en la parte del Fondo en comparación con la Parte Media, en cambio el Na tubo un comportamiento inverso al presentar cantidades más altas en la Parte Media, esto se debe a que el Na es un elemento soluble en el agua, desprendiendo hidrógeno y formando hidróxidos⁴².

El análisis estadístico permitió conocer que las concentraciones reportadas dentro del Sistema de Filtración y Sedimentación, están influenciados por la Profundidad (Parte media o Fondo), seguida de la influencia de la Estructura (Sedimentador, Filtro 2 y Filtro 3) y que solo para un caso del Cd existió una interacción de ambos factores. Esto pone de manifiesto que el proceso de Sedimentación es determinante en la modificación de la concentración de elementos minerales dentro del sistema de tratamiento, y que la filtración tienen una menor participación en la modificación de dichas concentración.

En cuanto al porcentaje de retención de los elementos minerales dentro del Sistema de Filtración y Sedimentación, se puede apreciar que existe una relación entre el peso atómico del elemento mineral y su porcentaje de retención (Cuadro 6). Así, se hace evidente que los elementos con mayor peso molecular, a excepción del Fe, son los que presentan un porcentaje de retención por encima del 50%. Los elementos con mayor peso atómico son más influenciados por el proceso de sedimentación y debido a esto son los que son retenidos con más eficiencia por el Sistema.

Los elementos más abundantes en el Sistema de Sedimentación y Filtración, es decir el N Total, Na y P, presentaron porcentajes de Retención menores al 50%.

Cuadro 6. Peso molecular y el porcentaje de retención de cada elemento monitoreado en el Sistema de Sedimentación y Filtración

<i>Elemento</i>	<i>Peso molecular</i>	<i>Retención (%)</i>
Zn	65.37	77
Mn	54.938	72
Cu	63.54	63
Ni	58.71	62
Pb	207.19	57
Cd	112.40	53
Na	22.98	44
P	30.97	40
Fe	55.84	35
N	14.06	26

Al momento de confrontar los valores promedios encontrados en el Filtro 3 del Sistema de Filtración y Sedimentación con los Límites Máximos Permisibles (LMP) marcados por la norma Nom-001-Ecol-1996, se aprecia que de los siete elementos (Cu, Zn, Cd, Pb, Ni, P, y N Total) que fueron estudiados y que son considerados por dicha norma, cinco elementos se registraron por debajo de los LMP. Mientras que cuatro elementos (Fe, Mn, N-NH₃ y Na) que se confrontaron con la Nom-127-Ssa1-1994, no cumplieron con los LMP. Cabe señalar que el hecho de que los elementos que no son considerados por la Nom-001-Ecol-1996, se tuvieran que confrontar con la Nom-127-Ssa1-1994, es resultado de que la norma que regula las descargas de aguas residuales en el país es de tipo genérico, ya que regula seis tipos de cuerpos receptores y cinco usos posibles del agua de estos cuerpos, y a la vez no hace especificación alguna en cuanto al origen de las aguas residuales^{11,15, 22, 24}. Por lo que no existe una legislación que reglamente las actividades del sector pecuario, en cuanto a la descargas de aguas residuales tomando en cuenta sus procesos productivos. Es por esto que se tuvo que usar a los rangos marcados por la Nom-127-Ssa1-1994 como valores de comparación, aunque esto pone en desventaja al Sistema de Filtración y Sedimentación ya que el ámbito de acción de esta norma es mucho más rígido.

5. CONCLUSIONES

La concentración de sólidos, elementos minerales, N Total y N-NH₃, es diferente en tres puntos (fosa de Sedimentación y Filtro 2 y Filtro 3) de un Sistema de Sedimentación. y Filtración.

El proceso de Sedimentación es el que mayor influencia tienen los cambios de concentración de sólidos, elementos minerales y nitrógeno de las aguas residuales de una granja porcina a su paso dentro de un Sistema de Sedimentación. y Filtración.

El proceso de Sedimentación favorece que los elementos minerales con mayor peso molecular presentes en el agua residual de origen porcino, sean retenidos con mayor eficiencia dentro de un Sistema de Sedimentación. y Filtración.

La concentración registrada de Fe, Mn, P, Na, N-NH₃ y N Total en el agua procedente del último filtro del Sistema de Sedimentación. y Filtración no cumple con los LMP señalados por las normas Nom-001-Ecol-1996 y Nom-127-Ssa1-1994. Por lo que la implementación de un Sistema de Sedimentación. y Filtración con las características del utilizado en este estudio para el tratamiento de las aguas residuales procedentes de una granja porcina no asegura el total cumplimiento de la norma Nom-001-Ecol-1996.

6. RECOMENDACIONES

En razón a que la sedimentación es el proceso mas importante dentro del Sistema de Sedimentación y Filtración para el tratamiento de aguas residuales se sugiere la siguientes medidas buscando hacerlo mas eficiente:

- Aumentar los tiempos de operación, para favorecer la sedimentación en cada fosa que forma el Sistema, actualmente se requiere de seis a siete días para que las aguas residuales pasen por todo el Sistema.
- La adición de compuestos como el $Al_2(SO_4)_3$ y $FeSO_4$ que acelere la sedimentación a través de la aglutinación de los elementos minerales⁴².
- Sustituir el sistema de bombas eléctricas que movilizan el agua dentro del Sistema de Tratamiento, ya que al estar fijas en la parte del fondo de cada fosa altera el efecto de la Sedimentación. Sería mas conveniente para este tipo de Sistema la movilización del agua por medio de decantación.

Dado que los elementos minerales presentes en la aguas residuales de origen porcino tiene su origen en la dieta de los animales, se sugiere, en base a la literatura las siguientes medidas para disminuir su excreción y por ende su potencial como contaminante.

- La suplementación con enzimas endógenas, principalmente fitasas, que incrementa eficiencia en la absorción del fósforo. A través de la hidrólisis del P-fítico, la fitasa mejora en proporciones variables la absorción y retención principalmente de P, además del Ca, Mg, Zn, Cu, Fe y aminoácidos. Se ha reportado que la contaminación ambiental por fósforo puede reducirse hasta un 50% si se adiciona fitasa en la dieta⁴⁰.
- Como el Nitrógeno excretado es la cantidad de proteína ingerida que no es adecuadamente metabolizada. Se debe tener cuidado de no exceder el nivel de proteína que el animal requiere, y vigilar el balance de aminoácidos para disminuir la excreción de nitrógeno¹⁵.

A mediano plazo, la reducción del impacto ambiental de las granjas porcinas deberá resultar de los cambios en la nutrición¹¹. Un programa de alimentación bajo los conceptos de aminoácidos digestibles y proteína ideal, permite disminuir el contenido de nitrógeno en la dieta sin alterar el comportamiento productivo de los animales. Dado que dichas tecnologías están estrechamente vinculadas con la eficiencia de los parámetros productivos, deberían de ser adoptadas fácilmente por la porcinocultura¹⁵.

7. BIBLIOGRAFÍA

1. Fundación la Caixa. Residuos ganaderos. Barcelona, España: Aedos, 1995
2. FAO. Los residuos del ganado y el medio ambiente. Beijing, China. 1994.
3. Fernández GJ. Enciclopedia practica de la ganadería y la agricultura. Barcelona, España: Océano, 1999.
4. Seoáñez CM. Manual de tratamiento, reciclado, aprovechamiento y gestión de aguas residuales de las industrias agroalimentarias. España: Mundi-Prensa, 2002
5. Athié LM. Calidad y cantidad del agua en México. México: Universo Veintiuno, 1987.
6. Pérez ER. Porcinocultura intensiva y medio ambiente en México. México: Revista Mundial de Zootecnia. FAO. Roma,1999
7. Estadísticas de agua en México, Comisión Nacional del Agua. Edición 2004.
8. Castillo A. Tratamiento de aguas residuales: Un costo necesario. México: Expansión,1989.
9. Mata-González R., Gutiérrez CJ. y Jurado GP. La importancia del tratamiento de aguas residuales y el uso benéfico de biosólidos en México. Calidad de ambiental elemento, esencial para el desarrollo sostenible, 2005:10: 9-12.
10. SAGARPA. Situación actual y perspectivas de la producción de carne de porcino en México. 2005.
11. Pérez ER. Porcinocultura intensiva y medio ambiente en México. México: Revista Mundial de Zootecnia. FAO. Roma,1999.

12. Pérez ER. La experiencia mexicana en el control y utilización de agua residuales y excretas generadas en granjas porcinas. Veracruz, México: Instituto de Ecología, 2001.
13. Duncker GA., Escalante SR., Gómez GV. y Magaña RS. La industria porcina en Yucatán: Un análisis de la generación de aguas residuales. México: Problemas de Desarrollo, 2003:34:105-124.
14. Pacheco J.,Cabrera A., Steinich B., Frías J., Coronado V. y Vázquez J. Efecto de la aplicación agrícola de la excreta porcina en la calidad del agua subterránea. Ingeniería, 2002:6-3:7-17.
15. FAO. (Pág. en Internet) Reporte de la Iniciativa de la Ganadería, el Medio Ambiente y el Desarrollo. Integración por Zonas de la Ganadería y de la Agricultura Especializadas. Opciones para el Manejo de Efluentes de Granjas Porcícolas de la Zona Centro de México Disponible: <http://www.fao.org/wairdocs/LEAD/X6372S/x6372s00.HTM>
16. Taiganides EP., Pérez ER. y Girón E. Manual para el manejo y control de aguas residuales y excretas porcinas en México. México: Instituto de investigaciones económicas, UNAM, 1996.
17. Jiménez CBE. La contaminación ambiental en México. México: Limusa, 2004.
18. Méndez GT., Rodríguez DL. y Palacios MS. Impacto del riego con aguas contaminadas, evaluado a través de la presencia de metales pesados en suelos. Terra Latinoamericana, 2000:18:277-288.
19. Laws AE. Aquatic pollution. United States of America:John Wiley & Sons, Inc., 1993.
20. Gordon, MF. Purificación de aguas y tratamiento y remoción de aguas residuales. México: Limusa, 1996.

21. Norma oficial Mexicana que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales y bienes nacionales”, NOM-001-ECOL-1996 (“24 de junio de 1996”).
22. Barbe JP. y Braathen NA. Diseño y efectividad de los instrumentos fiscales relacionados con el medio ambiente en los países de la OCDE. México: Gaceta Ecológica, 2002:03:60-74.
23. UNAM. Instituto de investigaciones económicas. XX Seminario de economía agrícola del tercer mundo. Interacciones ganadería y medio ambiente. Pérez ER.
24. Rodríguez TL, Morales NJA. La aplicación de instrumentos económicos para disminuir la contaminación del agua: Experiencias en el uso de cuotas por descargas de aguas residuales. Revista análisis económicos, 2000:15:115-135.
25. Dojlido J. Chemistry of water and water pollution. New York: Horwood, 1993.
26. Mariscal LA. Estudio sanitario del agua. Granada, España: Universidad de Granada, 1995.
27. Conesa FV. Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental. España: Mundi-Prensa, 2000
28. “Norma oficial Mexicana, salud ambiental, agua para uso y consumo humano- Límites permisibles de calidad y tratamiento a que debe someterse el agua para su potabilización”, NOM-127.SSA1-1994 (“31 de mayo de 1994”).
29. Secretaría de gobernación y gobierno del Estado de México. Los municipios del Estado de México. Colección: Enciclopedia de los municipios del Estado de México. México, 1998.
30. García HD. Evaluación de elementos minerales y nitrógeno presentes en la fracción líquida de efluentes y excretas porcinas. (tesis de licenciatura). Facultad

de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Nacional Autónoma de México, 2006.

31. Liceaga MM. Manejo de excretas en granjas porcinas: estudio recapitulativo (tesis de licenciatura). Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Nacional Autónoma de México, 1994.
32. Análisis de agua- Determinación de nitrógeno total Kjeldahl en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Método de Prueba. NMX-AA-026-SCFI-2001
33. Wayne WD. Bioestadística: México: Limusa, 1993.
34. Kuehl RO. Diseño de experimentos. México: Thomson Learning, 2001.
35. Whitehead DC. Grassland Nitrogen, UK: Cab Internacional, 1995.
36. Underwood EJ., Suttle NF. Los minerales en la nutrición del ganado. España: Ed, Acribia, 2003.
37. Church DC., Pond WG. y Pond KR. Fundamentos de nutrición y alimentación de animales. México: Ed Limusa Wiley, 2006.
38. Cervantes-Carrillo F., Pérez J., y Gómez J. Avances en la eliminación biológica del nitrógeno de las aguas residuales. Revista Latinoamericana de Microbiología, 2000. 42:73-82
39. Nacional Resarch Council. Nutrient Requirements of swine.1998.
40. Redollar PG. Y Mateos GG. El fósforo en nutrición animal. Necesidades, valoración de materias primas y mejora de la disponibilidad. XV Curso de especialización FEDNA, Barcelona, 1999.
41. López CC. El fósforo en la formulación para aves. México: Primer Simposio: El fósforo en la nutrición animal, 1988
42. Marín GML. Análisis químicos de suelos y agua. España: Universidad Politécnica de Valencia, 2003.

43. Soto RE., Lozano RT., Barbarín CJM., y Alcalá RM. Remoción de metales pesados en aguas residuales mediante agentes químicos. Ingenierías, 2004:07:46-50.

44. JMP. SSA/STAT, User Guide 4th ed. SAS. Inst. Unc. CarxNC, 2000.