

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

EVALUACIÓN DE ELEMENTOS MINERALES Y NITRÓGENO
PRESENTES EN LA FRACCIÓN LÍQUIDA DE EFLUENTES Y
EXCRETAS PORCINAS

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

MEDICA VETERINARIA ZOOTECNISTA

P R E S E N T A:

DIANA SUSANA GARCÍA HERNÁNDEZ

ASESORES:

MC. FRANCISCO A. CASTREJÓN PINEDA
MPA. SERGIO A. ANGELES CAMPOS

MEXICO, D.F.

2006



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 Dios pues gracias a su amor llegado hasta este punto en mi vida por quien sigo adelante.

Mamita, gracias por haber sacrificado tu vida para poder llevarnos hasta donde estamos.

A mi hermana quien ha sido la mejor acompañante de toda mi vida. Juntas siempre.

A mi querido sobrinito Yayo, quien me inspira cada día para ser mejor persona en todos los sentidos.

SI TE DESANIMAS CUANDO ESTÁS EN APRIETOS,
NO SON MUCHAS LAS FUERZAS QUE TIENES
Prov. 24:24

AGRADECIMIENTOS

Agradezco infinitamente a Dios, gracias a él estoy viva, él es el pilar, el sostén de todo lo que hago, el es quien guía mis pasos y el que me impulsa a seguir adelante.

Gracias a mi mamá por haberme dado la gran oportunidad de tener una licenciatura y por el apoyo que siempre he recibido de ti en todo lo que hago. También agradezco a mi preciosa hermana y su querido hijo a quienes quiero mucho y por quienes seguiremos adelante.

Agradezco también a mis amigos: Ana, Mariana, Claudia y Chucho quienes compartieron conmigo las cosas buenas y malas de la carrera y sobre todo, que siempre estaban junto a mí y seguirán siendo parte importante en mi vida.

Gracias a Abi, Ali, Mine, Angeliquita, Grisel y Alvarito, por ser quienes son conmigo y por ser parte de otra etapa en mi vida.

A Alejandrina mi gran amiga, con quien comparto muchas cosas, secretos, miedos y juntas superamos los temores.

También agradezco a mi papá el hecho de que también por él tengo vida.

Gracias al Dr. Francisco Castrejón Pineda por ser tan generoso conmigo y al Dr. Sergio Angeles Campos por el tiempo y disposición que dedicaron para poder realizar este trabajo.

Infinitas gracias a mi tercer asesor el Ing. José Luis Pablos Hasch, quien me brindó su mano y su tiempo para poder realizar y culminar mi trabajo, pero sobre todo le agradezco su generosidad, su interés y los sabios consejos que me brinda.

Gracias a todo el personal del DNAB: Fer, por ser una gran persona, Ladis y Martín por la ayuda brindada durante la realización de mi trabajo. Gracias Águeda por el apoyo que siempre me has brindado.

Agradezco al Proyecto PAPIIT por el financiamiento que proporcionó para este trabajo y al jefe de proyecto el Dr. Marco A. Herradora Lozano por la confianza que depositó en mí y por haber esperado tanto tiempo con paciencia.

CONTENIDO

INDICE	Página
RESUMEN.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	2
Justificación.....	7
Objetivos.....	8
Objetivos específicos.....	8
Hipótesis.....	8
2. MATERIAL Y MÉTODOS.....	10
Sistema de tratamiento.....	10
Muestreo.....	13
Análisis de laboratorio.....	14
Espectrofotometría de absorción atómica.....	15
Preparación de la muestra madre.....	15
Determinación de nitrógeno amoniacal según la NMX-AA-026-SCFI-2001..	19
Determinación de nitrógeno total.....	21
Análisis estadístico.....	23
3. RESULTADOS.....	25
Zinc.....	25
Hierro.....	29
Cobre.....	32
Cadmio.....	35
Manganeso.....	39
Plomo.....	42
Níquel.....	45
Fósforo.....	49
Sodio.....	52
Nitrógeno amoniacal.....	56
Nitrógeno total.....	58
4. DISCUSIÓN.....	62
5. CONCLUSIONES.....	68
6. RECOMENDACIONES.....	69
7. BIBLIOGRAFÍA.....	70

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Cantidad de muestra (g de sólidos suspendidos totales, SST)/litro de agua utilizado.....	16
Cuadro 2. Cantidad de SST g/litro de agua residual en las tres estructuras.....	25
Cuadro 3. Media y desviación estándar de concentración (ppm) de Zn en cada estructura.....	26
Cuadro 4. Concentración (ppm) de Zn en cárcamo, separador y sedimentador.....	27
Cuadro 5. Análisis de varianza para la concentración de Zn.....	28
Cuadro 6. Media y desviación estándar de concentración (ppm) de Fe en cada estructura.....	29
Cuadro 7. Concentración (ppm) de Fe en cárcamo, separador y sedimentador.....	30
Cuadro 8. Análisis de varianza para la concentración de Fe.....	31
Cuadro 9. Media y desviación estándar de concentración (ppm) de Cu en cada estructura.....	32
Cuadro 10. Concentración (ppm) de Cu en cárcamo, separador y sedimentador.....	33
Cuadro 11. Análisis de varianza para la concentración de Cu.....	35
Cuadro 12. Media y desviación estándar de concentración (ppm) de Cd en cada estructura.....	35
Cuadro 13. Concentración (ppm) de Cd en cárcamo, separador y sedimentador.....	37
Cuadro 14. Análisis de varianza para la concentración de Cd.....	38
Cuadro 15. Media y desviación estándar de concentración (ppm) de Mn en cada estructura.....	39
Cuadro 16. Concentración (ppm) de Mn en cárcamo, separador y sedimentador.....	40

Cuadro 17. Análisis de varianza para la concentración de Mn.....	41
Cuadro 18. Media y desviación estándar de concentración (ppm) de Pb en cada estructura.....	42
Cuadro 19. Concentración (ppm) de Pb en cárcamo, separador y sedimentador.....	43
Cuadro 20. Análisis de varianza para la concentración de Pb.....	45
Cuadro 21. Media y desviación estándar de concentración (ppm) de Ni en cada estructura.....	45
Cuadro 22. Concentración (ppm) de Ni en cárcamo, separador y sedimentador.....	47
Cuadro 23. Análisis de varianza para la concentración de Ni.....	48
Cuadro 24. Media y desviación estándar de concentración (ppm) de P en cada estructura.....	49
Cuadro 25. Concentración (ppm) de P en cárcamo, separador y sedimentador.....	50
Cuadro 26. Análisis de varianza para la concentración de P.....	52
Cuadro 27. Media y desviación estándar de concentración (ppm) de Na en cada estructura.....	52
Cuadro 28. Concentración (ppm) de Na en cárcamo, separador y sedimentador.....	54
Cuadro 29. Análisis de varianza para la concentración de Na.....	55
Cuadro 30. Media y desviación estándar de concentración (ppm) de NH ₃ en cada estructura.....	56
Cuadro 31. Concentración (ppm) de NH ₃ en cárcamo, separador y sedimentador.....	57
Cuadro 32. Análisis de varianza para la concentración de NH ₃	58
Cuadro 33. Media y desviación estándar de concentración (ppm) de Nt en cada estructura.....	59

Cuadro 34. Concentración (ppm) de Nt en cárcamo, separador y sedimentador.....	60
Cuadro 35. Análisis de varianza para la concentración de Nt.....	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Tratamiento primario de aguas residuales.....	Página 10
Figura 2. Cárcamo de colección de efluentes.....	11
Figura 3. Separador de sólidos.....	12
Figura 4. Fosas de Sedimentación.....	12
Figura 5. Flujo del Agua residual.....	13
Figura 6. Obtención de muestras.....	14
Figura 7. Comportamiento promedio de la concentración de Zn en las tres estructuras: Cárcamo (Cm), separador (Sp) y sedimentador (Sd).....	26
Figura 8. Comportamiento promedio de la concentración de Zn de acuerdo a la profundidad en las tres estructuras.....	27
Figura 9. Comportamiento promedio de la concentración de Fe en las tres estructuras.....	29
Figura 10. Comportamiento promedio de la concentración de Fe de acuerdo a la profundidad en las tres estructuras.....	30
Figura 11. Comportamiento promedio de las concentraciones de Cu en las tres estructuras.....	32
Figura 12. Comportamiento promedio de la concentración de Cu de acuerdo a la profundidad en las tres estructuras.....	34
Figura 13. Comportamiento promedio de la concentración de Cd en las estructuras.....	36
Figura 14. Comportamiento promedio de la concentración de Cd de acuerdo a la profundidad en las tres estructuras.....	37
Figura 15. Comportamiento promedio de las concentración de Mn en las tres estructuras.....	39
Figura 16. Comportamiento promedio de la concentración de Mn de acuerdo a la profundidad en las tres estructuras.....	40
Figura 17. Comportamiento promedio de la concentración de Pb en las tres estructuras.....	42

Figura 18. Comportamiento promedio de la concentración de Pb de acuerdo a la profundidad en las tres estructuras.....	44
Figura 19. Comportamiento promedio de la concentración de Ni en las tres estructuras.....	46
Figura 20. Comportamiento promedio de la concentración de Ni de acuerdo a la profundidad en las tres estructuras.....	47
Figura 21. Comportamiento promedio de las concentración de P en las tres estructuras.....	49
Figura 22. Comportamiento promedio de la concentración de P de acuerdo a la profundidad en las tres estructuras.....	51
Figura 23. Comportamiento promedio de la concentración de Na en las tres estructuras.....	53
Figura 24. Comportamiento promedio de la concentración de Na de acuerdo a la profundidad en las tres estructuras.....	55
Figura 25. Comportamiento promedio de la concentración de NH_3 en las tres estructuras.....	56
Figura 26. Comportamiento promedio de la concentración de NH_3 de acuerdo a la profundidad en las tres estructuras.....	57
Figura 27. Comportamiento promedio de la concentración de Nt en las tres estructuras.....	59
Figura 28. Comportamiento promedio de la concentración de Nt de acuerdo a la profundidad en las tres estructuras.....	60

RESUMEN

GARCÍA HERNÁNDEZ DIANA SUSANA. Evaluación de elementos minerales y nitrógeno presentes en la fracción líquida de efluentes y excretas porcinas. (Bajo la dirección de: MVZ, MC Francisco A. Castrejón Pineda y MVZ, MPA Sergio C. Ángeles Campos)

Con el objetivo de identificar la concentración de elementos minerales en líquidos efluentes de excretas porcinas y compararlos con los límites máximos permisibles que señala la NOM-127-SSA1-1994 y NOM-001-ECOL-1996, en la posibilidad de darles un uso agrícola para el riego de praderas, se analizó la composición mineral de un sistema de tratamiento primario que consta de tres estructuras: fosa del cárcamo (Cm), separador de sólidos (Sp) y fosa de sedimentación (Sd), a dos niveles: fondo y parte media; en una granja de tipo intensivo productora de lechones con 100 vientres. Los efluentes se depositaron en frascos de plástico de 1 litro, en cinco muestreos diferentes, se completaron muestras contractuales con los efluentes provenientes de tres puntos al azar de los diferentes niveles. Las muestras se deshidrataron en estufa de aire forzado 100 °C, se obtuvo 1 g que se digirió con ácido nítrico – perclórico, en la solución madre se determinó la concentración de elementos minerales por espectrofotometría de absorción atómica y luz ultravioleta visible (UV visible). Se realizó un análisis de varianza correspondiendo a un modelo factorial entre estructuras y profundidades. Hubo distinta concentración ($p < 0.05$) de todos los elementos entre estructuras y profundidades. Cu, Pb, Ni y P estuvieron dentro de niveles permisibles, a diferencia de Zn, Fe, Cd, Mn, Na, N-NH₃ y N-total que no cumplieron con los límites máximos permisibles por la NOM-127-SSA1- 1994 y NOM-001-ECOL-1996.

1. INTRODUCCIÓN

La agricultura y la ganadería se enfrentan hoy a un gran desafío: cubrir las necesidades alimenticias de una población mundial en crecimiento acelerado y hacerlo de manera sostenible teniendo en cuenta la defensa del medio ambiente.¹

Gran parte de los temas y de las aspiraciones que mueven a la sociedad han quedado estrechamente vinculados a los procesos ambientales a tal grado que no es posible pensar en soluciones a los problemas del medio ambiente sin replantear las formas de la convivencia productiva.

México ha adoptado un modelo económico, caracterizado por una considerable apertura, que se complementa con su incorporación al bloque comercial norteamericano a través de la firma del Tratado de Libre comercio de América del Norte y otros acuerdos regionales, así como su adhesión a la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico), que agrupa a las principales economías desarrolladas, la cual es un instrumento que señala las obligaciones para los gobiernos de cada país pertenecientes a esta organización, por lo que en función de esta nueva forma de inserción en la economía mundial, surgen nuevos retos en materia de competitividad que tienen fuertes repercusiones sobre la política ambiental.²

Así mismo las probables modificaciones en los perfiles de producción y consumo consecuentes, obligan a desarrollar una estrategia para la protección y el manejo ambiental. Esta estrategia debe garantizar la salud de la población ante estos procesos de cambio, y convertir los efectos de una mayor interacción, en una verdadera vía tanto de desarrollo como de beneficios para la población y el medio ambiente.³

Los sistemas biofísicos que dan soporte a la vida social constituyen recursos comunes ambientales que han sido objeto de una revaloración creciente, concomitante con el deterioro al que han sido sometidos, sobre la estructura ecológica, México ha experimentado un proceso intenso de crecimiento económico con un deficiente control ambiental, en donde para hacer frente a estos patrones insostenible de consumo urbano se establecieron prácticas

agropecuarias modernas y tecnificadas, con altos consumos de agua, energía y agroquímicos, que ejercen agresivas presiones sobre el medio.²

Por lo que es importante conocer que los sistemas de producción ganadera a nivel mundial se clasifican en tres grandes grupos:

1. Sistemas de pastoreo. Representan el 9 % de la producción mundial de carne y ambientalmente están asociados a situaciones como el sobrepastoreo, degradación de suelos, deforestación y pérdida de la biodiversidad.

2. Sistemas mixtos. Representan el 54 % de producción de carne y 90 % de producción de leche a nivel mundial y son, desde el punto de vista ambiental, los sistemas más benignos debido a que brindan la oportunidad de reciclar nutrientes al interior de la unidad de producción.

3. Sistemas industriales (Confinamiento). Proporcionan más del 50 % de la producción mundial de carne de cerdo y ave. Este sistema depende de la oferta externa del alimento, energía y otros insumos, por lo tanto, la demanda de estos insumos puede tener efectos ambientales en regiones diferentes a aquellas donde se realiza la producción.

El impacto de dichos sistemas industriales en el ambiente depende tanto de la especie como de los procesos vinculados al procesamiento e industrialización de los productos.

En este contexto México ha sido y continúa siendo un importante productor porcino en escala mundial.

La porcicultura en México se ubica como el segundo sector productor de carne más dinámico en los últimos años, con una tasa de crecimiento anual de 3.8 %. La producción de carne porcina en el año 2001 se ubicó en el orden de 1 143 580 toneladas, lo que significa una expansión de 11 % con referencia al 2000, mostrando el mayor crecimiento porcentual dentro del sector ganadero mexicano.⁴

Dicha cifra se mantuvo, incluso ha aumentado el número de granjas porcícolas las cuales se encuentran ampliamente distribuidas en el territorio nacional, en las que la producción se desarrolla en cualquiera de los tres sistemas de producción: tecnificado, semi tecnificado o de traspatio.

En la actualidad existe una fuerte tendencia para incrementar el tamaño de las operaciones lo que ha generado la producción de grandes cantidades de desechos en áreas relativamente pequeñas.⁵

Por lo anterior, las granjas porcinas son una fuente importante de contaminación del agua debido a que las excretas de cerdos se descargan y son desechadas sin ningún tratamiento.⁶

Las explotaciones porcinas producen dos clases de estiércol, el sólido como tal o mezclado con paja u otros materiales y la parte líquida del mismo (efluente).

Se ha estimado que un cerdo con un rango de peso corporal de 20 a 110 kg produce alrededor 1 litro de efluentes por cada 10 kg de peso vivo al día.⁷ La excreta mixta de heces y orina en el cerdo contiene el 10 % de sustancia seca y la producción media por cerdo en una explotación en la que existen reproductores y se producen cerdos hasta alcanzar el peso de sacrificio es de 5 kg aproximadamente por cerdo por día. La tasa de excreción es menor en los cerdos jóvenes y mucho mayor en las cerdas lactantes; 2 kg, 6 kg y hasta 25 kg para cerdos de 30 kg, 100 kg y cerdas lactantes respectivamente. Cuando la excreta contiene entre el 4-8 % de sustancia seca puede ser bombeada con facilidad. Cuando el contenido de sustancia seca es del 20 % o superior a los excrementos pueden entonces manipularse como producto sólido. Las deyecciones semilíquidas pueden almacenarse bajo el suelo, o ser extraídas para su almacenamiento en tanques o lagunas (fosas). En las fosas los sólidos se separan naturalmente de los líquidos. Estos últimos pueden ser bombeados directamente hacia los campos. Las deyecciones del cerdo contienen niveles elevados de nitrógeno, fósforo y potasio que pueden representar un fertilizante útil. Sin embargo es importante señalar que normalmente se pierden hacia la atmósfera hasta el 30 % de nitrógeno y 10 % de fósforo y potasio.⁸ Estos efluentes vertidos al medio ambiente sin tratamiento previo, son contaminantes debido a su composición: materia orgánica, sólidos minerales – tierra mezclada – material disuelto (sales solubles, urea y amoníaco), metales, especialmente Cu y Zn, antibióticos, hormonas y desinfectantes.⁹ Para resolver esta problemática se deben utilizar tratamientos que disminuyan el riesgo de

contaminación ambiental, para tal fin algunas granjas han utilizado separadores de sólidos y lagunas de fermentación o fosas de sedimentación y filtración, sin embargo, en lo referente a la cantidad de elementos minerales en aguas residuales provenientes de esos sistemas, no hay suficiente información de sus características, por lo que es importante realizar la caracterización y proponer sistemas de tratamiento eficientes que permitan cumplir con la Norma Oficial Mexicana (NOM – 127 – SSA 1994) Salud ambiental, agua para uso y consumo humano - límites permisibles de calidad y tratamiento a que deben someterse el agua para su potabilización y (NOM – 001 – ECOL – 1996) Norma Oficial Mexicana que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, estas normas limitan la concentración de minerales (P, As, Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Pb, Zn, Fe, Mn y Na), nitrógeno total y amoniacal para autorizar la descarga de esos efluentes a los cauces naturales y a otros sistemas de descarga tales como agua de riego, lodos, fertilizantes, etc.

Cuando algunos de estos minerales están presentes en el cuerpo animal así como en las excretas son posibles contaminantes ya que su presencia en el organismo se debe a que han entrado a través del alimento, agua y aire.^{10,11}

Es importante resaltar que en México, la política ambiental prácticamente se reduce al enfoque regulatorio, y a la fecha las únicas medidas de política ambiental que tienen relación con la actividad pecuaria son las normas que establecen límites máximos permisibles (LMP) de contaminación en las descargas de aguas residuales y bienes de la nación (NOM-001-ECOL-1996) y alcantarillado público (NOM-002-ECOL-1997), considerando así de mayor impacto en la ganadería la primera debido a que regula las descargas del grueso de las granjas porcinas.

De acuerdo con la gradualidad de la NOM-001-ECOL-1996, las granjas con un número de semovientes considerable (>500 vientres) son aquellas que generan más de 3.0 toneladas de sólidos suspendidos totales por día, y deberían haber cumplido con los LMP de la norma el 1 de enero del año 2000. En esta fecha, o

habrán invertido en un sistema de tratamiento o tendrán que pagar por el derecho correspondiente.

Las granjas de tamaño mediano que generen entre 1.2 y 3.0 toneladas de sólidos suspendidos totales (SST) adquirieron un plazo de cumplimiento de la Norma citada al 1 de enero del año 2005 y todas las demás, tienen al año 2010 para el cumplimiento con sus obligaciones ambientales.¹²

Las características más importantes de las excretas porcinas están relacionadas con los siguientes aspectos: parámetros físico-químicos, contenido y calidad de nutrientes para fertilización, micronutrientes y metales, valor alimenticio y cuentas bacterianas.⁶

Los residuos que producen las ganaderías industriales impactan en forma directa el suelo, agua y aire; la producción de excretas tiene un efecto potencial directo en el aire (producción de amoníaco, gases y olores), en el agua superficial y subterránea (filtración, escorrentía y derrames) y en el suelo (saturación con minerales y toxicidad).¹²

Se calcula que en la tierra existen aproximadamente 1'385, 000,000 km³ de agua, de los cuales 97.3 % se encuentra en los mares y es de tipo salada, el 2.08 % se encuentra congelada en los polos y solo una pequeña parte está efectivamente disponible para nuestras necesidades.¹³

La necesidad de un suministro adecuado de agua para el ganado está bien reconocida y recibe más atención en la investigación encaminada a purificar ambientes contaminados por medio del mejoramiento de la calidad y la confiabilidad de las fuentes de agua.¹⁴ El progreso de cualquier industria depende de la iniciativa, creatividad y dedicación de todos los involucrados y realmente interesados en ella: investigadores, especialistas y productores. Para cualquiera de ellos es indispensable contar con un punto o marco de referencia con respecto al pasado y presente de cada aspecto de la industria.¹⁵

Tanto los animales como las personas, generan una serie de residuos que pueden tratarse de diferentes maneras.¹⁶ A medida que el nivel socioeconómico aumenta, es mayor el gasto de agua; lo que trae como

consecuencia la generación de aguas residuales, es por esto que se debe contar con métodos adecuados de tratamiento y reutilización.¹⁷

Los métodos que comúnmente se emplean en la práctica para el tratamiento del agua tienen como objetivo principal, eliminar las impurezas, sustancias o microorganismos extraños del agua.¹⁸

El tratamiento de las aguas residuales es un proceso que se compone de múltiples etapas de carácter físico y biológico independientes. Tratamientos primarios, secundarios y, a veces, terciarios se emplean para reducir la contaminación fecal y química del agua.¹⁹

A pesar de los esfuerzos realizados, en México existe un incremento importante de las aguas residuales, así como una disminución de las aguas que garantizan su potabilidad.⁷

Por lo anterior, se plantea realizar la siguiente investigación en una granja porcícola del estado de México, con una población promedio de 100 vientres, en un sistema de producción semi intensivo de lechones, y con la finalidad de analizar la forma en que el tratamiento físico de filtración y sedimentación de los efluentes, hace variar el contenido mineral y de nitrógeno de los mismos y así tener un punto de partida que permita estudiar como se pueden disminuir las concentraciones de minerales, de tal manera que los efluentes cumplan con las características que señala la NOM – 127 – SSA 1994 y la NOM – 001 – ECOL – 1996.

En enero de 1997 se publicó en el Diario Oficial de la Federación la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, con el objetivo de proteger su calidad y posibilitar su uso. La aplicación de la norma es gradual y esto con base en la cantidad de contaminantes que son generados por las granjas, y las fechas de cumplimiento son los años 2000, 2005 y 2010.²⁰

JUSTIFICACIÓN

Uno de los problemas inherentes a las explotaciones ganaderas, es el manejo de las excretas, que en algunos casos alcanza volúmenes de gran magnitud;

en los últimos años se ha planteado y manejado una alternativa que pueda solucionar dicha problemática, teniendo así que, las excretas de porcinos empiezan a ocupar un lugar como ingrediente reciclable.

Sin embargo a pesar de la abundante información generada sobre el uso de estos materiales, no se tienen suficientes datos relacionados con la composición química e inorgánica de los efluentes residuales de las granjas porcinas de mediana escala, por lo que el hecho de conocerlos puede ser de gran utilidad para los productores que deseen hacer un uso racional de residuos fecales.

OBJETIVOS

Determinar si el sistema de tratamiento de separación de sólidos y líquidos y su posterior sedimentación de aguas residuales de excretas porcinas propuesto y establecido en una granja de aproximadamente 100 vientres, cumple con la Norma Oficial Mexicana que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. NOM-001-ECOL-1996.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar la composición de elementos minerales (P, Cd, Cu, Ni, Pb, Zn, Fe, Mn y Na) y la concentración de nitrógeno total y amoniacal en efluentes y excretas porcinas en distintas fosas, de una granja lechonera.^{21,22}
2. Comparar la diferencia en la composición de elementos minerales de los efluentes en diferentes fosas de un sistema de tratamiento de separación de sólidos y sedimentación de los efluentes de excretas porcinas empleado en una granja de producción porcina semi intensiva.
3. Evaluar la cantidad de minerales, nitrógeno total y amoniacal presentes en dichos efluentes respecto a su límite máximo permisible según la NOM-001-ECOL-1996.

HIPÓTESIS

El contenido de elementos minerales (P, Cd, Cu, Ni, Pb, Zn, Fe, Mn y Na), nitrógeno total y amoniacal presentes en aguas residuales porcinas, sometidas a un sistema de tratamiento primario (separación sólido-líquido y

sedimentación) cumple con la NOM-001-ECOL-1996 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

Las muestras de agua residual fueron obtenidas de una granja de producción porcina semi intensiva la cual tiene aproximadamente 100 vientres y esta ubicada en el municipio de Otumba, en el estado de México.

Se encuentra a una altitud media de 2250 msnm, clima de tipo templado sub-húmedo con lluvias en verano, con una temperatura media anual de 14.8 °C y una precipitación pluvial promedio anual de 573.3 mm.²³

El fin zootécnico de la granja es la producción de lechones, en donde las aguas residuales generadas (incluyen excretas y orina las cuales son arrastradas por el agua utilizada para limpiar las instalaciones), son recolectadas y sometidas a un sistema de tratamiento primario (Figura 1).



Figura 1. Tratamiento primario de aguas residuales

Sistema de tratamiento primario

Este tipo de sistema consiste únicamente en separaciones físicas en distintas fosas, cuyo objetivo es eliminar objetos de gran tamaño. El líquido resultante se deja asentar durante 48 horas en el caso de la granja, para así permitir la sedimentación de sólidos y así disminuir la cantidad de contaminantes presentes en el agua.¹⁹

El sistema de tratamiento que opera en la granja es el de la separación de la fracción sólida de la parte líquida (efluentes) y la posterior sedimentación de dichos efluentes, los cuales son vertidos a los cultivos agrícolas con fines de riego.

Para realizar el tratamiento la granja cuenta con un sistema que consta de tres estructuras para este fin. La primera estructura o fosa corresponde a un cárcamo (CM) de colección que es donde se recibe a todos los desechos generados de agua de la granja, dicha fosa cuenta con las siguientes medidas: 2.34 m de ancho, 3.06 m de largo y 5 m de profundidad. (Figura 2)



Figura 2. Cárcamo de colección de efluentes

La segunda estructura Figura 3 es un separador de sólidos de pantalla tipo cilíndrico (SP) el cual se encarga de verter los residuos líquidos al sedimentador.



Figura 3. Separador de sólidos

Finalmente la tercera estructura es la fosa de sedimentación (Sd), en ella el agua se mantiene aproximadamente 2 días para que ocurra una sedimentación y así posterior a este tiempo el agua es utilizada para el riego de cultivos de maíz principalmente. El tamaño de esta fosa es de 1.66 m de ancho, 1.95 m de largo y 2.43 m de profundidad. (Figura 4)



Figura 4. Fosas de Sedimentación

En la figura 5 se indica el flujo que sigue el agua residual en la granja

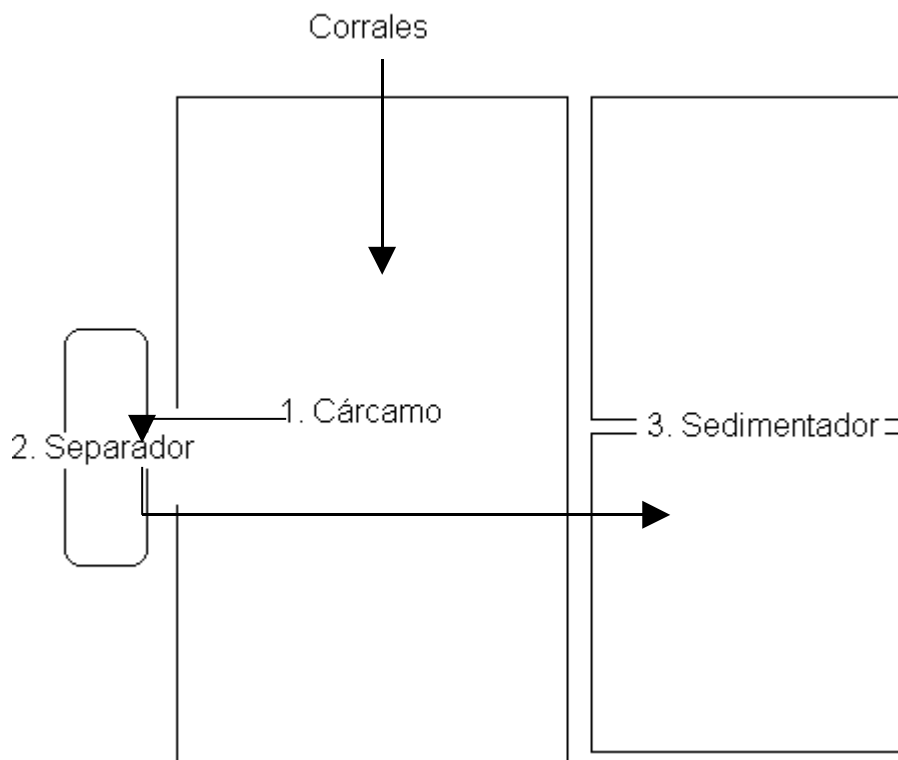


Figura 5. Flujo del Agua residual

En las fosas anteriormente mencionadas así como en el separador de sólidos se realizó un muestreo semanal en 5 ocasiones, esto de acuerdo al sistema de eliminación de desechos programado en la granja.

Muestreo del agua residual

El muestreo del efluente se llevo a cabo en distintos puntos de cada estructura y se realizó de la siguiente manera: (Figura 6)

1. Se tomaron dos muestras de cada estructura y profundidad, fueron depositadas en un frasco de plástico de capacidad para un litro y fueron identificadas de la siguiente forma:

- Fondo del cárcamo (1aCm)
- Parte media del cárcamo (1bCm)
- Primeros desechos de agua del separador de sólidos (2aSp)
- Últimos desechos de agua que vierte el separador de sólidos (2bSp)
- Fondo de la fosa de sedimentación (3aSd)
- Parte media de la fosa de sedimentación (3bSd).

2. En el caso del separador de sólidos se tomaron las primeras muestras de los primeros efluentes que pasan a la fosa de sedimentación y estas se consideraron como parte del fondo. Posteriormente se tomo una segunda muestra a mitad del proceso de separación, y a estas muestras se les considero de la parte media.
3. El total de muestras obtenidas al final de cada muestreo fueron doce, las cuales se transportaron en refrigeración al laboratorio de bromatología para su posterior análisis.



Figura 6. Obtención de las muestras

Análisis de laboratorio

La concentración de minerales (P, Cd, Cu, Ni, Pb, Zn, Fe, Mn y Na) en los efluentes obtenidos en cada una de las fosas, se realizó por el método de espectrofotometría de absorción atómica en el Laboratorio de Bromatología del Departamento de Nutrición Animal y Bioquímica de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, UNAM.

Las técnicas de análisis de los minerales son variadas entre las que se encuentran colorimétricas y espectrofotométricas que son las más utilizadas y se basan en la formación de reacciones específicas cuya intensidad esta directamente relacionada a la concentración del elemento.

Principio de espectrofotometría

El principio de absorción atómica está basado en el fenómeno físico en donde un elemento es capaz de absorber las líneas de emisión del mismo elemento.

El espectrofotómetro de absorción atómica consta de un sistema para excitar a los átomos haciéndose comúnmente por medio de flama del aire acetileno.

Consta de un sistema óptico a base de colimadores y rejillas, un mecanismo para aislar la longitud de onda de seda, un detector con sistema electrónico auxiliar y un registrador. La parte básica del instrumento consiste en lámparas, llamadas de cátodo hueco, que contiene en su interior un elemento o una combinación de ellos, los cuales son los responsables de la emisión de líneas características del elemento.

El elemento que va a determinarse debe ir en una solución acuosa u orgánica de donde es absorbida a través de un capilar hacia un quemador que será el responsable de vaporizar al elemento y formar la nube de átomos. Esta absorción es proporcional al número de átomos en la nube, y por lo tanto, a la concentración del elemento en la nube.

La espectrofotometría de luz ultravioleta consiste en hacer 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 (transmitancia) o en forma logarítmica (absorbancia).^{22,24}

Preparación de la solución madre.

La muestra o solución madre es aquella solución de donde se obtiene la cantidad de minerales que hay en ella y se preparó de la siguiente manera: las muestras de los efluentes obtenidas del fondo principalmente tenían una consistencia ligeramente densa, con partículas grandes, las cuales no pueden ser absorbidas por el capilar del espectrofotómetro, por lo que se decidió someterlas a deshidratación utilizando una estufa de aire forzado para evaporar el líquido.

Cada litro de agua fue introducido a la estufa a una temperatura 100°C para ser deshidratadas. El tiempo promedio en que se logró deshidratar la muestra fue de 8 días y así obtener sólo los residuos sólidos (Cuadro 2). Dichos sólidos

fueron utilizados para la preparación de la muestra madre, y consistió en lo siguiente:

a) Se pesó aproximadamente un gramo de muestra en la mayoría de los casos, no obstante, en algunos efluentes residuales provenientes sobre todo de la parte media, no fue posible obtener un gramo de muestra. Cuadro 1.

Cuadro 1

CANTIDAD DE MUESTRA (g DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES, SST)/LITRO DE AGUA UTILIZADO

Estructura	Semanas				
	1	2	3	4	5
Cárcamo					
Parte Media	0.5004	1	0.3299	1.0001	1.0002
Fondo	1.0001	1.0001	1	1.0000	1.0002
Separador					
Parte Media	1.0001	1.0000	0.7500	1.0002	1.0002
Fondo	1.0000	1.0001	0.9999	1.0002	1.0002
Sedimentador					
Parte Media	0.8777	1.0001	0.7600	0.7502	1.0003
Fondo	1.0002	1.0000	1.0002	1.0003	1.0002

b) Se colocó el gramo de muestra en un vaso de precipitados de 200 ml y se le agregó 3 ml de ácido nítrico y 2 ml de ácido perclórico grado reactivo (RA) para realizar la digestión de materia orgánica y así obtener sólo materia inorgánica.

c) Se taparon los vasos de precipitados con un vidrio de reloj y se sometió la muestra a calentamiento para generar la digestión. Se mantuvieron en esa condición durante 20 minutos.

d) Al transcurrir este tiempo se retiraron del calor, se dejaron enfriar, se filtraron a un matraz y se aforaron a 100 ml con agua destilada. La solución fue vertida a frascos de plástico de capacidad de 60 ml y fueron cerrados herméticamente para evitar así la evaporación de la solución madre.

Una vez realizados todos los aforos se realizó la determinación de los elementos minerales en el espectrofotómetro de absorción atómica marca Perkin Elmer modelo 2380, siguiendo las especificaciones del slit y longitud de onda que indica el fabricante para cada mineral. La lectura que reportó el espectrofotómetro esta dada en absorbancia por lo que mediante cálculos se determinó la concentración de minerales en partes por millón o mg/litro, como es reportado en la NOM-001-ECOL-1996.

La fórmula utilizada para calcular la concentración de Cobre, Cadmio, Manganeso, Plomo y Níquel, fue la siguiente:

$$\frac{\text{Lectura} * \text{Aforo}}{\text{g muestra}}$$

Donde:

Lectura= Cantidad reportada en el espectrofotómetro de absorción atómica

Aforo = 100 ml a la que fue aforada la muestra madre

g muestra = Gramos de muestra utilizados para realizar la solución madre

Debido a que al realizar la lectura de la concentración de minerales en la muestra madre aforada a 100 ml en el espectrofotómetro de absorción atómica, reportaba concentraciones muy elevadas e inestables, se decidió hacer un segundo aforo, tomando 4 ml de la solución madre inicial y llevándola a un segundo aforo a 100 ml. Es importante señalar que este segundo aforo se realizó para los siguientes elementos minerales: Zinc, Hierro, y Sodio.

Posteriormente se volvieron a tomar las lecturas de los elementos mencionados a un segundo aforo y se los resultados se obtuvieron con la fórmula abajo descrita.

$$\left(\frac{\text{Lectura} * \text{aforo} * 2^{\text{do}} \text{Aforo}}{\frac{\text{ml alícuota}}{\text{g muestra}}} \right)$$

En donde:

Lectura = Cantidad reportada en el espectrofotómetro de absorción atómica

Aforo = 100 ml a la que fue aforada la muestra madre

2^{do} Aforo = Se refiere a los ml (para este trabajo fueron 100) del segundo aforo al que fueron sometidos los elementos anteriormente mencionados.

g muestra = Gramos de muestra utilizados para realizar la solución madre

ml alícuota = Cantidad en ml (en este caso fueron 4) de solución madre inicial tomada para realizar el segundo aforo

En cuanto a la determinación de la concentración de fósforo éste se hizo por medio de colorimetría. El procedimiento para la obtención de la solución madre fue el mismo patrón con el cual se trabajaron los minerales anteriormente mencionado, sin embargo para leer este mineral el procedimiento es diferente y se describe a continuación:

1. Con una pipeta volumétrica y con una perilla se tomó 1 ml de la solución madre y se vació en un matraz volumétrico aforado a 100 ml.
2. Se añadió 20 ml de solución de molibdo-vanadato a la muestra colocada en el matraz y se aforó a 100 ml.
3. Se dejó reposar 10 minutos y se determinó la densidad óptica en el espectrofotómetro de UV (luz ultravioleta) visible.

Para realizar los cálculos de fósforo se empleó la siguiente fórmula:

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

Donde:

P = Fósforo

Lectura = Cantidad reportada en el espectrofotómetro UV visible

Ordenada = Ordenada obtenida de la curva de la solución molibdo-vanadato.

Pendiente = Pendiente obtenida de la curva de la solución molibdo-vanadato

g = Gramos de muestra

☆ Solución de molibdo-vanadato

- Se disuelve 40 g de molibdato de amonio $(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$ en 400 ml de agua destilada caliente y enfriar.

- Disolver 2 g de metavanadato de amonio (NH_4VO_3) en 250 ml de agua destilada caliente, enfriar. Añadir 450 ml de ácido clorhídrico RA.

- Añadir gradualmente y con agitación constante la solución de molibdato sobre el vanadato y aforar a 2000 ml.

Valorar la Ordenada y la pendiente de la solución molibdo-vanadato mediante regresión lineal.

Determinación de nitrógeno amoniacal según la NMX-AA-026-SCFI-2001

El análisis de N total y N amoniacal se realizó directamente de la muestra, es decir del efluente residual.

El análisis por el cual se determinó la concentración de nitrógeno amoniacal se realizó por medio del método señalado en la NMX-AA-026-SCFI-2001 Análisis de agua - Determinación de nitrógeno total Kjeldahl en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de prueba, se llevó a cabo en el mismo laboratorio.

Reactivos y patrones

Todos los productos químicos usados en este método deben ser grado reactivo, a menos que se indique otro grado en la técnica.

☆Disolución amortiguadora de boratos.

Añadir 88 m de la disolución de NaOH 0.10 N a 500 ml de disolución de tetraborato de sodio 0.025 M y diluir a 1 L en un matraz aforado.

☆Disolución de hidróxido de sodio (0.10 N).

Pesar aproximadamente 4.0 g de hidróxido de sodio y disolver en 500 mL de agua, dejar enfriar a temperatura ambiente y llevar a 1 L.

☆Disolución valorada de ácido sulfúrico (0.2 N).

Preparar una disolución de ácido sulfúrico aproximadamente 0.1 N diluyendo 3 ml de ácido sulfúrico concentrado en 1 L de agua. Diluir 200 ml de esta disolución en 1 L de agua. Titular el ácido sulfúrico aproximadamente 0.2 N con carbonato de sodio.

☆Mezcla de indicadores.

Pesar aproximadamente 200 mg de indicador rojo de metilo aforar a 100 ml con alcohol etílico. Pesar aproximadamente 100 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 aproximadamente y con precisión 500 g de hidróxido de sodio y 25 g de tiosulfato de sodio pentahidratado disolver en agua libre de amoniaco y llevar a 1 L.

☆Disolución de hidróxido de sodio (6 N).

Pesar aproximadamente 240 g de hidróxido de sodio y llevar a 1 L con agua libre de amoníaco.

Procedimiento

1. Limpiar el equipo de destilación antes de utilizarlo, destilando una mezcla (1:1) agua-disolución hidróxido - tiosulfato de sodio hasta que el destilado esté libre de amonio.
2. Tomar una muestra dependiendo de las concentraciones esperadas, en este caso se tomaron 25 ml.
3. Diluir con agua hasta 500 ml.
4. Preparar un blanco con 500 ml de agua y darle el mismo tratamiento que a la muestra como sigue:
 - 4.1 Añadir 25 ml de la disolución amortiguadora de boratos y ajustar el pH a 9.5 con disolución de hidróxido de sodio 6 N (Normal). En este trabajo se utilizaron tiras reactivas de para determinar pH.
 - 4.2 Transferir la disolución a un matraz Kjeldahl y añadir unas perlas de ebullición.
 - 4.3 Conectar el matraz Kjeldahl al bulbo del aparato de destilación, destilar la muestra.
 - 4.4 Recolectar el condensado con la punta del tubo del refrigerante sumergido en 50 ml de la disolución amortiguadora de boratos.
 - 4.5 Para este trabajo la destilación se completó cuando se recolectaron 200 ml de destilado aproximadamente, incluyendo los 50 ml de la disolución amortiguadora de boratos con la solución de la mezcla de indicadores.
 - 4.6 Retirar el matraz colector y titular con solución de ácido sulfúrico 0.2 N (HSO_4) hasta que la solución vire de un verde esmeralda a morado. Cabe señalar que para este trabajo se decidió utilizar dicha normalidad del HSO_4
5. Para obtener la concentración de nitrógeno total se utilizó la siguiente fórmula:

$$\frac{(A-B)(N)(0.014)}{\text{Vol. Muestra}}$$

A = ml de HSO_4 gastados en la titulación de la muestra

B = ml de HSO_4 gastados en el blanco

N = Normalidad del HSO_4

0.014= Constante de peso equivalente del nitrógeno (meq de $N/100$)

Vol. muestra = ml de muestra utilizados

Determinación de Nitrógeno Total

Método Kjeldahl (adaptación del método HOAC 955.04 b)

Principio del método.

En el método Kjeldahl los compuestos nitrogenados de la muestra se descomponen con HSO_4 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.

El principal objetivo de éste método es determinar cuantitativamente por medio de titulación el contenido de nitrógeno total.

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

Procedimiento:

1. Digestión de la muestra

- Colocar en un matraz Kjeldahl tres perlas de ebullición
- Colectar la muestra, que para el fin del presente trabajo se consideró tomar 10 ml de la muestra original (en líquido) y se depositaron en el matraz Kjeldahl
- Añadir 1 g de muestra catalizadora (sulfato de potasio, sulfato de cobre y selenio metálico), esto con el fin de acelerar el proceso de digestión.
- Añadir 20 ml de HSO_4 concentrado
- Colocar en el digestor de kjeldahl y calentar por un espacio de 45 minutos o hasta que la muestra se clarifique.
- Retirar los matraces del digestor, taparlos con tapones de hule y dejar enfriar.

2. Destilación

- Añadir 400 ml de agua a los matraces con la muestra ya digerida
- Colocar en matraces Erlenmeyer 50 ml de ácido bórico al 4 % y 3 gotas de verde de bromocresol,
- Agregar al matraz kjeldahl 5 gotas de fenolftaleína y con mucho cuidado agregar 50 ml de hidróxido de sodio (NaOH) 1+1.

- Mezclar suavemente observando que el contenido presente un color rosa.
- Colocar inmediatamente en el destilador el matraz kjeldahl y calentar hasta que todo el amonio (NH_3) haya sido destilado (200 ml de destilado). El destilado se recogerá en los matraces Erlenmeyer que contienen el ácido bórico con verde de bromocresol. En tanto se lleva a cabo la destilación el color del ácido bórico cambiará gradualmente de verde a azul.

3. Titulación

- Titular con solución valorada de ácido clorhídrico a 0.1 N (HCl) en el contenido del matraz Erlenmeyer hasta el cambio de color a verde nuevamente.

4. Cálculo de resultados

- Para calcular la cantidad de nitrógeno en base húmeda de la muestra es necesario la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned} \% \text{ N total} &= \frac{\text{ml de HCl} * \text{N del ácido} * 0.014 * 100}{\text{g muestra}} \\ \text{ppm} &= \left(\frac{\text{ml de HCl} * \text{N del ácido} * 0.014 * 100}{\text{g muestra}} \right) * 10000 \end{aligned}$$

Donde:

ml HCl = ml de HCl 0.1 N gastados en la titulación

N = Normalidad del ácido clorhídrico

0.014 = meq de N/100

☆Mezcla catalizadora

Mezclar 200 g de sulfato de potasio puro en polvo, 20 g de sulfato de cobre puro y 5 g de selenio metálico en polvo.

☆Solución de ácido bórico al 4 % (1L)

Disolver 40 g de ácido bórico en agua destilada, colocar en la parrilla de calentamiento y mantener con agitación hasta que se disuelva, enfriar a temperatura ambiente.

☆Solución de hidróxido de sodio 1+1 (500ml)

Pesar 500 g de hidróxido de sodio RA y agregar a 500ml de agua destilada, con ayuda de una varilla de vidrio disolver, para evitar la cristalización del hidróxido.

☆Indicador verde de bromocresol

Pesar 1 g de verde de bromocresol y disolverlo en 200 ml de etanol, se debe observar que la solución adquiera un color verde bandera.

☆Indicador de fenoftaleína (1L)

Disolver en 500 ml de etanol al 96 %, 5g de feloftaleína y aforar a un litro con agua destilada.

☆Solución valorada de ácido clorhídrico 0.1 N (2L)

En un matraz volumétrico con capacidad de 2000 ml agregar 500 ml de agua destilada. Medir con una probeta 17.2 ml de ácido clorhídrico (la concentración del reactivo deberá ser de 36.5 a 38% para dar la normalidad deseada). Aforar a dos litros. Es importante señalar que para tener una normalidad adecuada deberán de realizarse una serie de operaciones siguiendo la fórmula para cálculo de normalidad de una solución.

Análisis estadístico

A las variables zinc, hierro, cobre, cadmio, manganeso, plomo, níquel, fósforo sodio, nitrógeno amoniacal y nitrógeno total se les realizó un análisis descriptivo de media y desviación estándar en cada una de las estructuras: cárcamo, separador y sedimentador; así como en las dos profundidades: agua y fondo, en cada semana de muestreo, los que fueron graficados en forma de perfiles.

Con el objeto de detectar diferencias en los valores medios entre las tres estructuras y las dos profundidades, para cada semana de muestreo se realizó un análisis de la varianza correspondiendo a un modelo factorial entre las estructuras y las profundidades. El modelo estadístico correspondiente para cada semana 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:

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 tiene media igual a cero, varianza σ^2 y son no correlacionados. $1 \leq i \leq 3$, $1 \leq j \leq 2$, $1 \leq k \leq 2$.

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. $1 \leq i \leq 3$, $1 \leq j \leq 2$, $1 \leq k \leq 2$.^{25,26}

Se utilizó el paquete computacional SPSS Versión 13.0.

3. RESULTADOS

La cantidad de SST (sólidos suspendidos totales) por litro de aguas residuales, en cada estructura y profundidad (parte media y fondo), se muestra en el Cuadro 2.

Cuadro 2

CANTIDAD DE SST g/LITRO DE AGUA RESIDUAL EN LAS TRES ESTRUCTURAS

Estructura	Promedio ± Desviación estándar
Cárcamo	
Parte Media	6.27 ± 7.45
Fondo	47.55 ± 14.40
Separador	
Parte Media	10.34 ± 10.60
Fondo	52.44 ± 32.36
Sedimentador	
Parte Media	2.96 ± 1.56
Fondo	56.69 ± 28.39

Tomando en cuenta el agua residual de las tres estructuras se obtuvo el porcentaje promedio de SST el cual fue de 2.94 %. Para determinar la concentración de cada elemento contenido en un litro de agua residual, se debe multiplicar la concentración de cada uno de ellos (expresada en partes por millón, ppm) por el % de SST:

Concentración del elemento (ppm en base seca) * % de SST.

Zinc (Zn)

Para el elemento Zn, en el Cuadro 3 se muestra la media y la desviación estándar de la concentración correspondiente a cada estructura: cárcamo, separador y sedimentador; en cada semana de muestreo, la concentración de cada elemento se determinó en ppm (partes por millón).

Cuadro 3

MEDIA Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE CONCENTRACIÓN (ppm) DE Zn EN CADA ESTRUCTURA

Zn	Semana				
Estructura	1	2	3	4	5
Cárcamo	762.379±157.57	596.83±488.83	866.96±439.02	1103.11±6.25	868.57± 282.96
Separador	1018.16±255.06	681.22±198.28	787.52±432.94	1205.98±29.8	1159.16±223.73
Sedimentador	1020.89±603.63	1034.34±590.87	1024.82±613.91	893.54±560.2	962.26±461.91

La variación en la concentración de Zn a través de las cinco semanas de muestreo se muestra en la Figura 7.

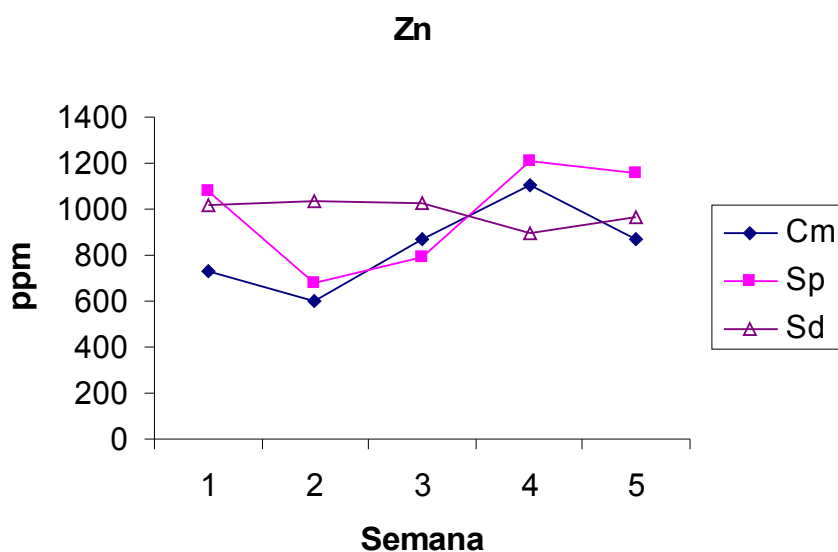


Figura 7. Comportamiento promedio de la concentración de Zn en las tres estructuras: cárcamo (Cm), separador (Sp) y sedimentador (Sd).

El Cuadro 4 muestra los valores promedio y desviación estándar de la concentración de Zn en el fondo y parte media de cada fosa a lo largo de las cinco semanas en las que se realizó el muestreo. En donde se observa una tendencia a mayor cantidad de Zn en el fondo de cada estructura en comparación a la parte media y ésta fue más notoria en el caso del sedimentador.

En la semana 1, 2 y 4 se observó diferencia ($p < 0.05$) en concentración de Zn en cada estructura. Por el contrario en la semana 3 y 5 no hubo diferencia estadística de Zn.

Cuadro 4

**CONCENTRACIÓN (ppm) DE Zn EN CÁRCAMO, SEPARADOR Y
SEDIMENTADOR**

Zn	Semana				
Estructura	1	2	3	4	5
Cárcamo					
Parte Media	590.34±12.97	175±35.35	558.93±436.9	1099.94±0.07	867.87±141.16
Fondo	862.39±17.76	1018.67±61.9	1174.99±88.38	1106.27±8.8	1062.27±264.96
Separador					
Parte Media	881.11±26.45	512.5±53.03	806.23±150.26	1193.48±44.3	1099.814±247.29
Fondo	1281.2±185.47	849.95±35.41	768.81±733.71	1218.47±8.79	1218.5±273.73
Sedimentador					
Parte Media	498.34±13.72	524.94±0.07	493.67±15.89	412.43±88.48	562.33±17.75
Fondo	1543.44±498.34	1543.75±97.22	1555.97±44.23	1374.65±88.26	1362.19±0.04

En la Figura 8 se observa la concentración de Zn en la parte del fondo y parte media de las tres estructuras del sistema de tratamiento.

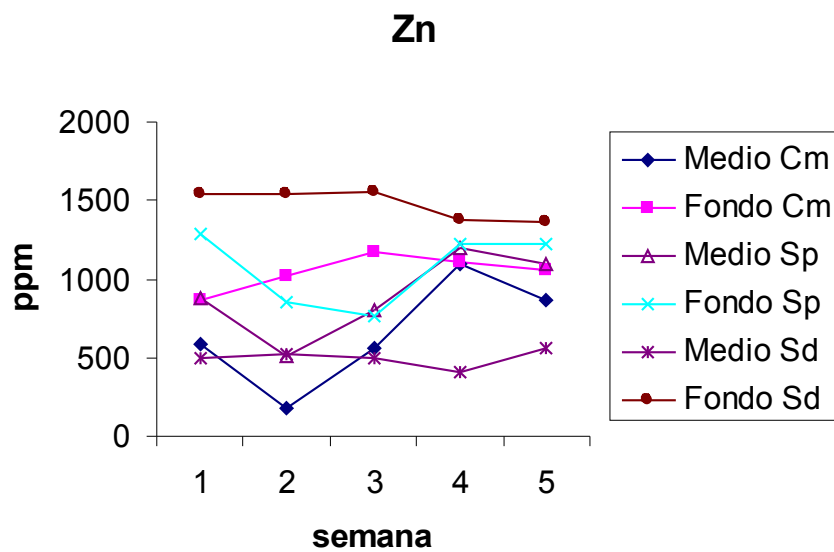


Figura 8. Comportamiento promedio de la concentración de Zn de acuerdo a la profundidad en las tres estructuras.

En la figura 8 se observa que la mayor concentración de este elemento se encuentra en el fondo de las tres estructuras de tratamiento siendo la fosa de sedimentación la que presenta mayor concentración de este elemento.

El efluente residual de la parte media de cada estructura presenta menor concentración de este elemento comparada con los lodos, presentando mayor concentración la estructura correspondiente al separador.

También se puede ver que la concentración de Zn de acuerdo a la profundidad en las tres estructuras es diferente ($p < 0.05$) en las cinco semanas de muestreo, destacando que en la semana dos hay una ligera disminución de la concentración de Zn en las tres estructuras.

En la semana 3 hay un aumento poco considerable con respecto a la semana anterior.

En la semana 4 hay una disminución en la concentración de este elemento, sin embargo en la fracción líquida del cárcamo se observa un aumento de este elemento, el cual no se puede explicar.

Finalmente para la semana 5 la concentración de este elemento sigue muy similar a la semana anterior y el agua residual del cárcamo disminuye en concentración hasta igualar en concentración a todas las estructuras, este comportamiento de disminución y aumento de Zn en la fracción líquida del cárcamo puede ser consecuencia de factores que no se pueden determinar.

Los resultados del análisis de varianza para concentración de Zn en cada una de las semanas muestran diferencias significativas de los diferentes factores bajo estudio, los cuales se observan en el Cuadro 5.

Cuadro 5

ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA CONCENTRACIÓN DE Zn

Fuente de Variación	Semana				
	1	2	3	4	5
Estructura	**	**		**	
Profundidad	**	**	*	**	**
Estructura x Profundidad	**	**		**	

* Significativo $P < 0.05$

** Altamente significativo $P < 0.01$

Los resultados de este análisis confirman los comportamientos observados en las Figuras 7 y 8. Existen diferencias altamente significativas de concentración entre las estructuras en la semana 1, 2 y 4. Mientras que existen diferencias altamente significativas entre las profundidades en cuatro semanas de muestreo, excepto en la semana 3. Se manifiesta un efecto de interacción en estructura por profundidad en las semanas 1, 2 y 3.

Hierro (Fe)

Para el elemento Fe, en el Cuadro 6 se muestra la media y desviación estándar de la concentración de este elemento correspondiente a cada estructura (cárcamo, separador y sedimentador).

Cuadro 6

MEDIA Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE CONCENTRACIÓN (ppm) DE Fe EN CADA ESTRUCTURA

Fe	Semana				
Estructuras	1	2	3	4	5
Cárcamo	2137.04±726.72	2834.17±2848.51	3357.93±2620.56	5068.65±396.88	3605.53±2078.16
Separador	4452.77±679.6	2943.63±1529.33	3243.86±2624.96	5973.64±451.14	5021.04±2585.88
Sedimentador	2982.4±2063.17	3134.32±2491.44	3022.13±2273.81	3349.2±2873.76	3767.83±2248.07

En la Figura 9 se aprecia la concentración de Fe en las tres estructuras en las cinco semanas de muestreo.

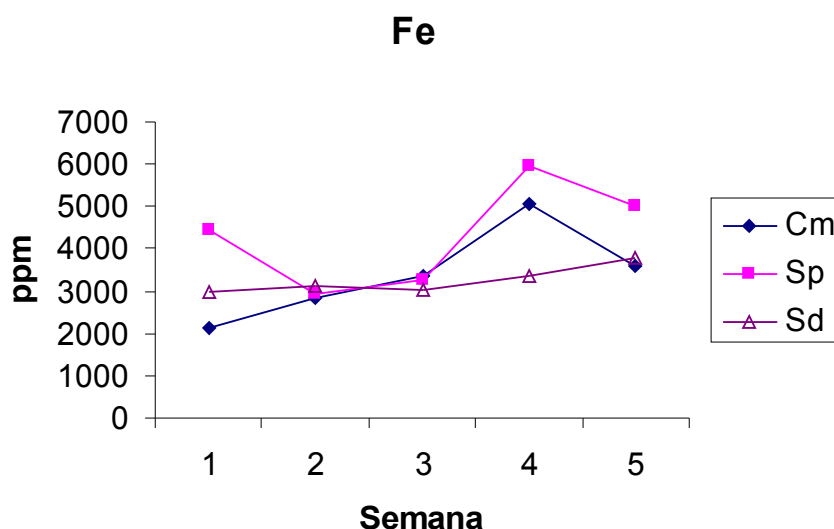


Figura 9. Comportamiento promedio de la concentración de Fe en las tres estructuras.

En la figura 9 se observa que la concentración de Fe en las tres estructuras son similares y solo se observa cierto aumento en la concentración en la semana 4, así mismo la concentración tiende a subir conforme pasa el tiempo. Solo existe diferencia de concentración ($p < 0.05$) de acuerdo a la estructura en la semana 1 y 4.

En el Cuadro 7 se muestran los valores promedio y desviación estándar de las concentraciones de Fe en la parte media y en el fondo de las estructuras a lo largo de las cinco semanas en las que se realizó el muestreo.

Cuadro 7

CONCENTRACIÓN (ppm) DE Fe EN CÁRCAMO, SEPARADOR Y SEDIMENTADOR

Fe	Semana				
Estructuras	1	2	3	4	5
Cárcamo					
Parte Media	1611.92±654.56	375±388.9	1209.59±1321.68	5349.75±389.25	1837.1±653.32
Fondo	2662.17±230.05	5293.35±26.32	5506.26±627.48	4787.55±70.53	5373.95±142.17
Separador					
Parte Media	4149.37±530.51	1637.5±335.87	3062.39±830.9	5698.7±513.17	3180.68±1245.65
Fondo	4756.17±857.86	4249.77±282.52	4325.32±4455.23	6248.58±211.85	6961.41±1857.07
Sedimentador					
Parte Media	1197.01±138.14	999.9±70.84	1076.35±570.11	862.35±194.65	1849.46±283.01
Fondo	4767.78±25.49	5268.75±627.55	4967.91±203.47	5836.05±0.4	5686.2±600.69

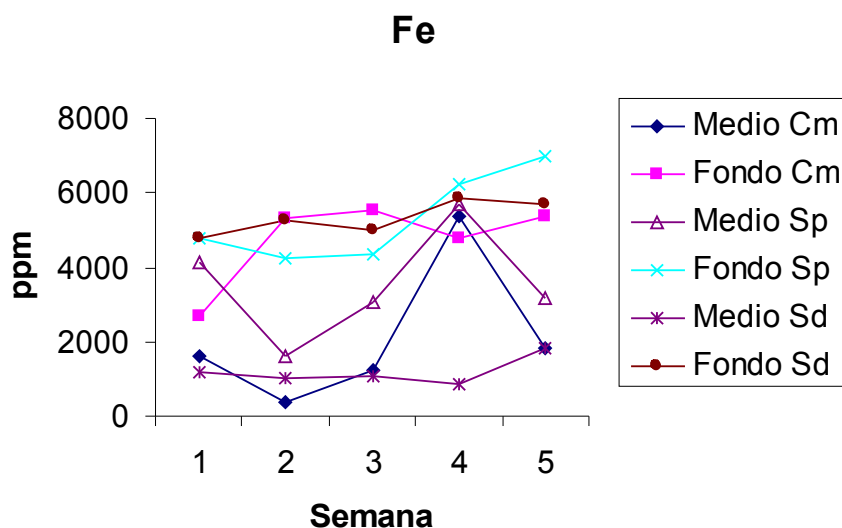


Figura 10. Comportamiento promedio de la concentración de Fe de acuerdo a la profundidad en las tres estructuras.

Como se puede observar en la Figura 10 la mayor concentración de este elemento se encuentra en la parte que corresponde al fondo en cada

estructura, presentando una mayor concentración de este elemento el sedimentador sobre el cárcamo y el separador.

En el líquido residual de la parte media de las estructuras, el Fe esta presente en menor cantidad, teniendo que el separador es el que presenta mayor cantidad de este elemento.

En las cinco semanas en que se realizó el muestreo existió diferencia ($p < 0.05$) en la concentración de Fe de acuerdo a la profundidad. En la semana 1 se observa claramente que la concentración de este elemento mineral es mayor en lo correspondiente al fondo de cada estructura, excepto la parte media del separador. Para la semana 2 se observa un aumento en concentración en lo correspondiente a los sólidos y una disminución de la concentración de Fe en la fracción líquida, cabe destacar que se manifiesta una diferencia considerable de concentración de Fe entre los lodos del fondo y líquidos de la parte media. En la semana 3 hay un ligero aumento de este elemento en las tres estructuras y se sigue observando esta diferencia de concentraciones entre lodos y fracción líquida. En la semana 4 sigue en aumento la concentración de este elemento, también se observa que hay una disminución muy marcada de concentración en la fracción líquida del sedimentador.

Los resultados del análisis de varianza para la variable de respuesta Fe en cada una de las semanas se muestran en el Cuadro 8.

Cuadro 8

ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA CONCENTRACIÓN DE Fe

Fuente de Variación	Semana				
	1	2	3	4	5
Estructura	**			**	
Profundidad	**	**	*	**	**
Estructura x Profundidad	*	**		**	

* Significativo $P < 0.05$

** Altamente significativo $P < 0.01$

Estos resultados señalan que existen diferencias de concentración entre las estructuras en la semana 1 y 4. Por otra parte existen diferencias entre la profundidad en las cinco semanas de muestreo. En la semana 1, 2 y 4 se

observa un efecto de interacción de estructura por profundidad sobre la concentración de este elemento.

Cobre (Cu)

El Cuadro 9 muestra la media y desviación estándar de la concentración de Cu correspondientes a cada estructura, cárcamo (Cm), separador (Sp) y sedimentador (Sd).

Cuadro 9

MEDIA Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE CONCENTRACIÓN (ppm) DE Cu EN CADA ESTRUCTURA

Cu	Semana				
	1	2	3	4	5
Cárcamo	83.82±19.5	72.74±55.22	116.68±55.94	113.87±26.38	95.48±24.91
Separador	122.74±31.22	82.99±21.7	100.37±48.37	134.34±4.33	116.97±16.82
Sedimentador	127.77±68.64	123.62±63.16	134.66±60.59	103.97±56.57	108.34±47.83

Se observa cierta variación en la concentración de Cu en cada semana, comportamiento que se aprecia mejor en la Figura 11.

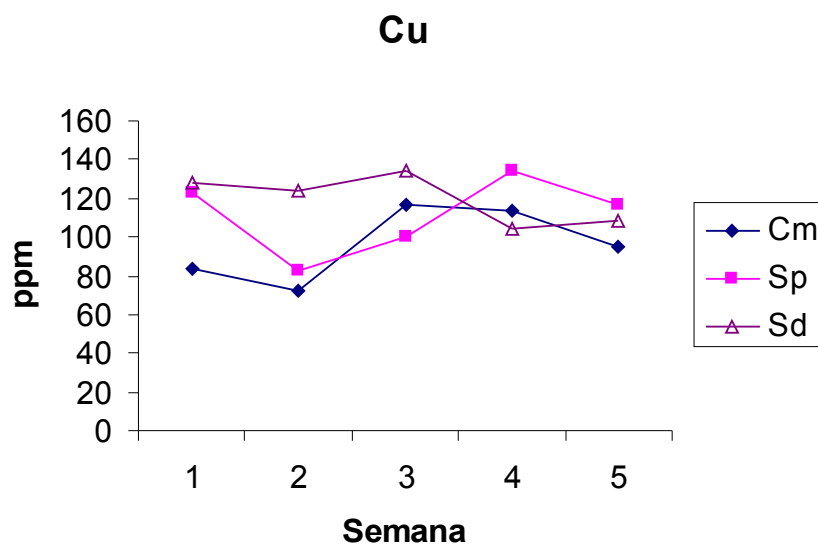


Figura 11. Comportamiento promedio de la concentración de Cu en las tres estructuras.

En la Figura 11 se observa una concentración menor de Cu respecto a la de los elementos anteriores en las tres estructuras; observándose además un antagonismo entre la estructura de cárcamo junto con el separador y sedimentador, es decir, a medida que la concentración de Cu en la estructura

correspondiente al cárcamo y separador disminuye, la del sedimentador aumenta, de la misma manera cuando la concentración de este elemento aumenta en cárcamo y separador, disminuye en el sedimentador, como se puede observar en la grafica en lo que corresponde a las semanas 4 y 5.

En cuanto a la concentración de Cu de acuerdo a cada estructura se puede observar que hay diferencia ($p < 0.05$) de ésta en la semana 1, 2 y 4.

La estructura que corresponde a la fosa de sedimentación en la semana 1, 2 y 3 fue la que presentó mayor concentración de este elemento.

En el Cuadro 10 se muestran los valores de media y desviación estándar de las concentraciones de dicho elemento con respecto a la profundidad en cada estructura durante las semanas en las que se realizó el muestreo.

Cuadro 10

CONCENTRACIÓN (ppm) DE Cu EN CÁRCAMO, SEPARADOR Y SEDIMENTADOR

Cu	Semana				
Estructura	1	2	3	4	5
Cárcamo					
Parte Media	67.9±2.77	25±0	95.62±87.14	128.74±1.75	78.48±20.47
Fondo	99.73±10.96	129.49±5.66	137.75±4.59	99±34.63	112.47±16.95
Separador					
Parte Media	99.48±6.37	64.5±6.36	111.49±20.5	131.97±3.54	115.48±16.24
Fondo	145.99±26.85	101.49±2.12	89.25±78.14	136.72±4.6	118.47±24.01
Sedimentador					
Parte Media	68.32±1.11	68.99±4.25	82.35±7.3	54.98±1.42	66.98±2.83
Fondo	187.21±1.1	178.25±3.88	186.96±4.24	152.96±1.42	149.71±3.18

La variación en la concentración de Cu de acuerdo a la profundidad está señalada en la Figura 12.

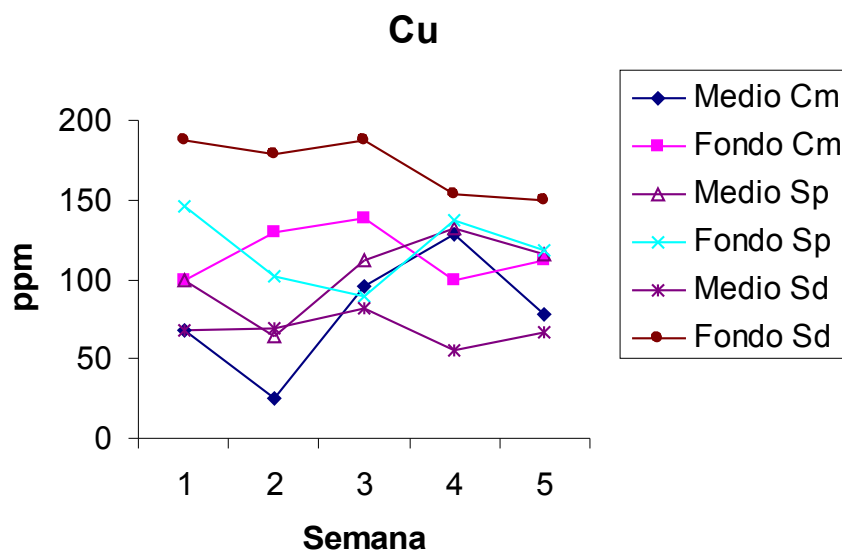


Figura 12. Comportamiento promedio de la concentración de Cu de acuerdo a la profundidad en las tres estructuras.

Como se puede observar la concentración del elemento Cu es mayor en lo que son los lodos del fondo de las tres estructuras, sin embargo en las dos últimas semanas del muestreo esto se modifica hasta tener concentraciones similares tanto en el fondo y fracción líquida de la parte media de cada estructura.

Se observa que la concentración de este elemento es menor en la fracción líquida, dicha concentración se asemeja a los lodos en la semana 4 y 5.

En cuanto a la profanidad en la semana 1, 2, 4 y 5 las estructuras de tratamiento del agua presentan una concentración diferente de Cu ($p < 0.05$).

En la semana 2 la concentración de Cu disminuye ligeramente con respecto a la semana anterior, no así los lodos del cárcamo en donde se ve claramente un aumento de concentración de este elemento.

En la semana 3 no existe diferencia en concentración de acuerdo a profundidad ($p > 0.05$). En la semana 4 hay una disminución de la concentración de Cu en todas las estructuras en lo correspondiente a los lodos, sin embargo la fracción líquida aumenta en concentración.

En la última semana de muestreo se observa una disminución en la concentración de Cu en las tres estructuras en ambas profundidades.

Los resultados del análisis de varianza para la variable de respuesta Cu son señalados en el Cuadro 11.

Cuadro 11

ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA CONCENTRACIÓN DE Cu

Fuente de Variación	Semana				
	1	2	3	4	5
Estructura	**	**		*	
Profundidad	**	**		*	**
Estructura x Profundidad	**	**		**	*

* Significativo $P < 0.05$

** Altamente significativo $P < 0.01$

Los resultados del Cuadro 11 son correspondientes a los comportamientos señalados en las figuras 11 y 12. En donde existen diferencias significativas de concentración en la semana 4 y altamente significativas entre las estructuras en las semanas 1 y 2. Mientras que de acuerdo a la profundidad existen diferencias altamente significativas únicamente en las semanas 1, 2 y 5. El efecto de la interacción de estructura por profundidad es altamente significativo en la semana 1, 2 y 4.

Cadmio (Cd)

Para el elemento Cd el Cuadro 12 muestra la media y desviación estándar de la concentración de este elemento correspondiente a cada estructura: cárcamo, separador y sedimentador. En comparación con los elementos anteriormente descritos la concentración de Cd fue baja en las tres estructuras en las cinco semanas en que se realizó el muestreo.

Cuadro 12

MEDIA Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE CONCENTRACIÓN (ppm) DE Cd EN CADA ESTRUCTURA

Cd Estructuras	Semana				
	1	2	3	4	5
Cárcamo	3.85±1.05	3.15±0.19	4.2±2.72	3.2±0.78	3.82±0.13
Separador	3.56±0.31	2.85±0.43	3.3±0.56	4.96±0.35	4.36±1.01
Sedimentador	4.21±1.39	2.85±0.2	5.43±2.32	5.87±1.42	4.09±0.9

La variación de este elemento a través de las semanas de muestreo se aprecia en la Figura 13.

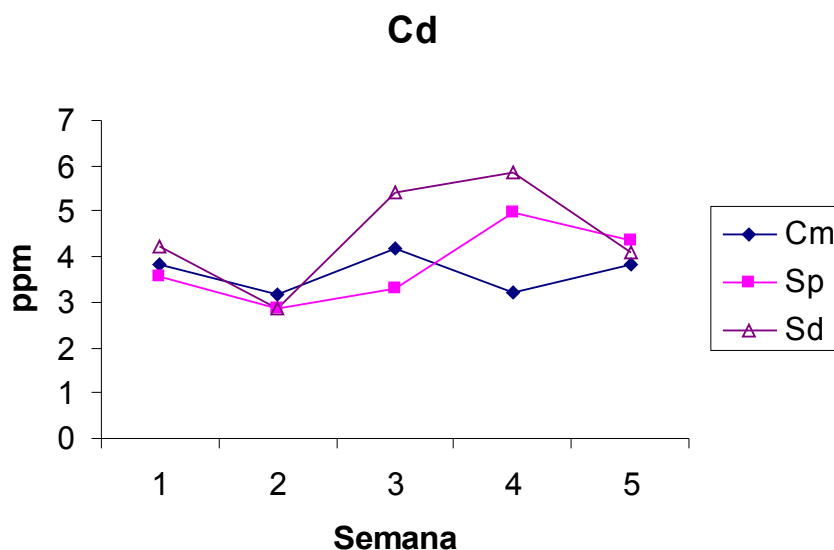


Figura 13. Comportamiento promedio de la concentración de Cd en las tres estructuras.

En la Figura 13 se observa una concentración similar en las tres estructuras, excepto en la semana 4 ($p < 0.05$).

Cabe mencionar que la estructura con mayor concentración de este elemento es la del sedimentador, excepto en las semanas 2 y 5.

Se observa el mismo efecto antagónico entre cárcamo junto con el separador y sedimentador, es decir, cuando aumenta la concentración de la fosa del cárcamo y de la estructura del separador disminuye la concentración en la fosa de sedimentación, lo que se observa claramente en la Figura 13 en lo correspondiente a la semana 2 y 5, tal cual se mencionó anteriormente para el elemento Cu.

En el Cuadro 13, se muestran los valores de media y desviación estándar para el elemento Cd en el fondo y en la parte media de cada una de las estructuras a lo largo de las cinco semanas en las que se realizó el muestreo.

Cuadro 13

CONCENTRACIÓN (ppm) DE Cd EN CÁRCAMO, SEPARADOR Y SEDIMENTADOR

Cd	Semana				
Estructuras	1	2	3	4	5
Cárcamo					
Parte Media	4.5±1.26	3.3±0.14	5.98±3.08	3.62±0.24	3.84±0.07
Fondo	3.2±0.14	3±0.07	2.42±0.1	2.77±1.02	3.79±0.21
Separador					
Parte Media	3.42±0.31	2.75±0.35	2.92±0.6	5.04±0.56	3.74±0.63
Fondo	3.7±0.35	2.95±0.63	3.67±0.17	4.87±0.17	4.97±1.09
Sedimentador					
Parte Media	5.37±0.67	2.75±0.21	7.44±0.33	6.59±1.98	4.69±0.84
Fondo	3.04±0	2.95±0.21	3.42±0.17	5.14±0.28	3.49±0.56

La Figura 14 indica las variaciones que se presentaron en el fondo y parte media en cada estructura de tratamiento en las diferentes semanas de muestreo.

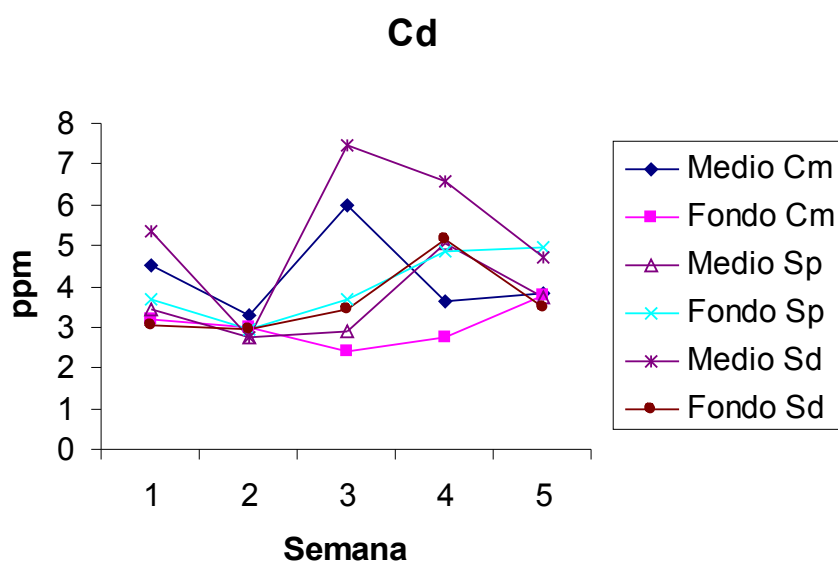


Figura 14. Comportamiento promedio de la concentración de Cd de acuerdo a la profundidad en las tres estructuras.

Se puede observar que la mayor concentración de Cd en las tres estructuras se presenta en la parte media de cada una de las estructuras. La fracción correspondiente a los lodos presentó menor concentración comparada con los líquidos, sin embargo la concentración en ambos niveles es muy similar durante los tiempos de muestreo a excepción de la semana 1 y 3 donde fue clara una diferencia en concentración ($p < 0.05$).

En la semana 1 la concentración de Cd es muy estable en las tres estructuras de tratamiento. En la semana 2 sufre una ligera disminución en comparación con la semana 1 y las tres estructuras muestran una concentración similar de Cd. En la semana 3 disminuye la concentración de cadmio en lo correspondiente a lodos del fondo de las tres estructuras, de igual manera la fracción líquida del separador. Sucede lo contrario con la fracción líquida del cárcamo y separador, en donde se observa un aumento de este elemento comparada con la semana anterior. En la 4ª semana aumenta la concentración en lo correspondiente a lodos de las tres estructuras, de igual manera la fracción líquida del separador. Por el contrario con la fracción líquida del cárcamo y separador, se observa una disminución de comparada con la semana anterior.

Por último en la semana 5 disminuyeron en concentración aquellas estructuras que aumentaron la cantidad de Cd en la semana anterior.

Los resultados del análisis de varianza para la variable Cd en cada una de las semanas son señalados en el Cuadro 14.

Cuadro 14

ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA CONCENTRACIÓN DE Cd

Fuente de Variación	Semana				
	1	2	3	4	5
Estructura				*	
Profundidad	*		*		
Estructura x Profundidad	*				

* Significativo $P < 0.05$

** Altamente significativo $P < 0.01$

Estos resultados corresponden a los comportamientos observados en las Figuras 13 y 14. Existe diferencia de concentración de acuerdo a la estructura sólo en la semana 4. Así mismo se observa diferencia significativa en la semana 1 y 3 en cuanto a profundidad y sólo se observa un efecto significativo de interacción de estructura por profundidad en la semana 1.

Manganeso (Mn)

En el Cuadro 15 se indica la concentración media y desviación estándar de Mn correspondientes a cada estructura y semana de estudio.

Cuadro 15

MEDIA Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE CONCENTRACIÓN (ppm) DE Mn EN CADA ESTRUCTURA

Mn	Semana				
Estructura	1	2	3	4	5
Cárcamo	151.53±77.61	161.61±11.84	238.24±113.67	194.49±95.46	246.45±77.13
Separador	323.85±127.08	193.74±50.69	214.88±111.27	302.18±21.55	300.82±64.11
Sedimentador	255.8±119.07	242.36±107.97	257.76±101.24	220.07±110	239.69±84.81

En la figura 15 se muestra la variación en concentración obtenida en cada semana de muestreo, en donde se observa diferencia en concentración en las diferentes estructuras que comprenden al sistema de tratamiento implementado en el lugar de estudio.

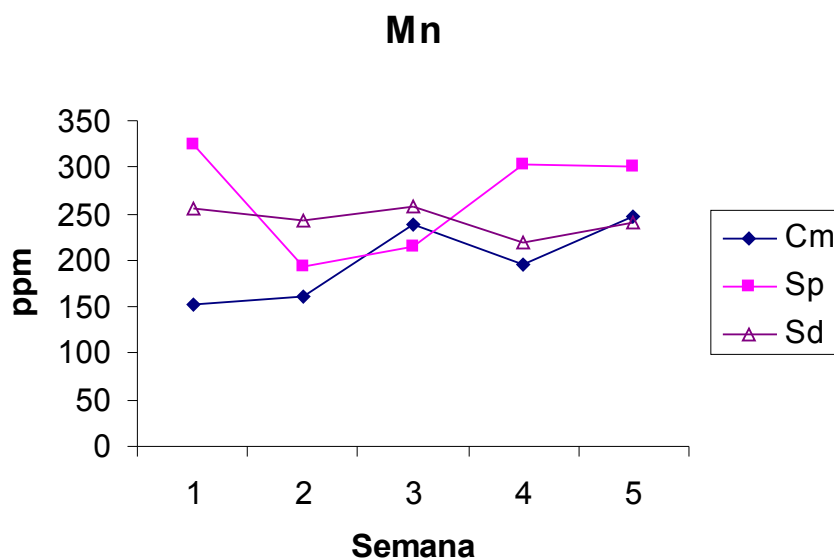


Figura 15. Comportamiento promedio de la concentración de Mn en las tres estructuras.

En la Figura 15 esta se aprecia una concentración fluctuante de Mn en cada estructura, con un ligero aumento de concentración de dicho elemento conforme pasa el tiempo, teniendo mayor concentración el sedimentador.

En el análisis estadístico se observa que hay una concentración diferente en la semana 1, 2 y 5 ($p < 0.05$) de acuerdo a la estructura. Además hay una concentración antagónica entre cárcamo y sedimentador similar a la que se describió y observó en los elementos minerales anteriores.

El Cuadro 16 muestra media y desviación estándar de la concentración de Mn a distintas profundidades de cada estructura en las semanas de muestreo.

Cuadro 16

CONCENTRACIÓN (ppm) DE Mn EN CÁRCAMO, SEPARADOR Y SEDIMENTADOR

Mn	Semanas				
Estructura	1	2	3	4	5
Cárcamo					
Parte Media	85.83±25.3	65±4.24	178.98±156.95	169.73±143.87	182.96±39.52
Fondo	217.22±13.1	258.23±13.08	297.49±9.19	219.25±64.69	309.94±12.76
Separador					
Parte Media	247.46±6.38	150.5±13.43	228.74±31.46	285.18±5.33	251.21±23.64
Fondo	400.24±104.97	236.98±7.08	201.01±188.11	319.17±14.5	350.44±43.89
Sedimentador					
Parte Media	152.69±1.26	148.98±1.43	170.34±2.88	124.97±7.1	166.45±6.38
Fondo	358.92±0.07	335.75±9.54	345.19±13.09	315.17±8.85	312.92±9.17

Como puede observarse en la Figura 16 existió mayor variación en la concentración de este elemento en el cárcamo, comparado con el resto de las estructuras.

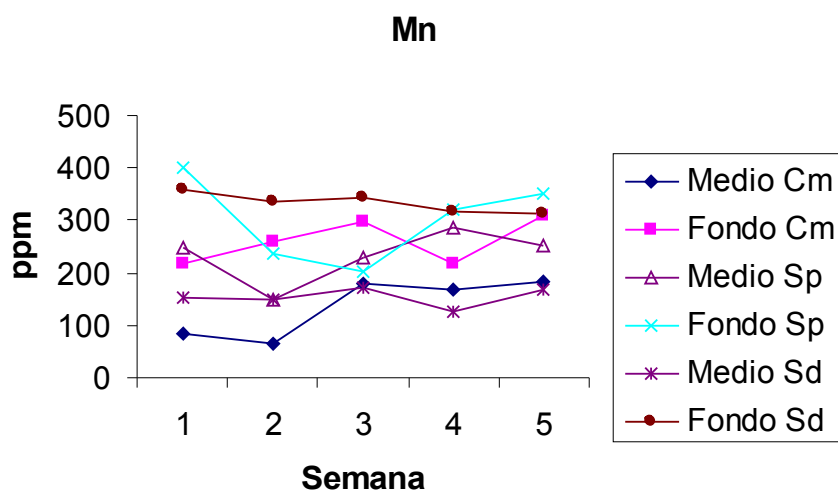


Figura 16. Comportamiento promedio de la concentración de Mn de acuerdo a la profundidad en las tres estructura.

En la Figura 16 se aprecia una mayor concentración del elemento Mn situado en lo que corresponde a los lodos del fondo, en comparación con el líquido de

la parte media de cada estructura de tratamiento al que es sometida el agua residual de la granja.

En cuanto al contenido de Mn en los lodos, la estructura que presentó mayor concentración es la fosa de sedimentación a diferencia de la fosa del cárcamo, que presentó menor concentración de dicho elemento. En lo referente al líquido sobrenadante de la parte media que representan específicamente al agua residual, la estructura que presentó mayor concentración de Mn es el separador de sólidos, seguida del sedimentador.

Se observa que la concentración de Mn es constante pero diferente ($p < 0.05$) en las tres fosas de tratamiento a diferentes profundidades durante las cinco semanas en las que se realizó el muestreo excepto en la semana 4 ($p > 0.05$).

Es importante señalar que en la semana 1 se observa ligeramente mayor concentración de Mn en lo que corresponde al fondo del separador y sedimentador. Para la semana 2 la concentración de este elemento tiende a bajar en todas las estructuras, aún conteniendo mayor cantidad la estructura en donde se realiza la sedimentación. En la semana 3 la concentración de Mn aumenta comparada con la semana anterior. Finalmente en las semanas 4 y 5 se observa una ligera disminución en la concentración del elemento, conservando mayor cantidad la estructura del separador en lo que se refiere a la parte de los lodos del fondo.

Los resultados del análisis de varianza para la variable de respuesta Mn en cada una de las semanas se indican en el Cuadro 17.

Cuadro 17

ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA CONCENTRACIÓN DE Mn

Fuente de Variación	Semana				
	1	2	3	4	5
Estructura	**	**			*
Profundidad	**	**		*	**
Estructura x Profundidad		**			

* Significativo $P < 0.05$

** Altamente significativo $P < 0.01$

Se observan diferencias altamente significativas en la concentración de Mn entre las estructuras en la semana 1 y 2 y diferencia significativa en la semana

5. Se notaron diferencias altamente significativas entre profundidades en las semanas 1, 2 y 5. La interacción de estructura por profundidad sólo fue significativa en la semana 2.

Plomo (Pb)

Para el elemento Pb, en el Cuadro 18 se muestra la media y desviación estándar de la concentración correspondientes a cada estructura: cárcamo, separado y sedimentador en las cinco semanas de muestreo.

Cuadro 18

MEDIA Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE LA CONCENTRACIÓN (ppm) DE Pb EN CADA ESTRUCTURA

Pb	Semana				
Estructura	1	2	3	4	5
Cárcamo	19.87±13.01	26.12±30.18	21.12±24.26	21.37±2.98	31.49±14.1
Separador	30.24±19.58	18.24±14.4	36.00±52.36	31.42±14.1	3.5±2.61
Sedimentador	25.26±16.77	18.87±21.91	35.58±10.67	25.11±10.4	6.87±8.5

En la Figura 17 se muestra gráficamente los cambios en la concentración de Pb a través del tiempo de estudio en las distintas estructuras de tratamiento.

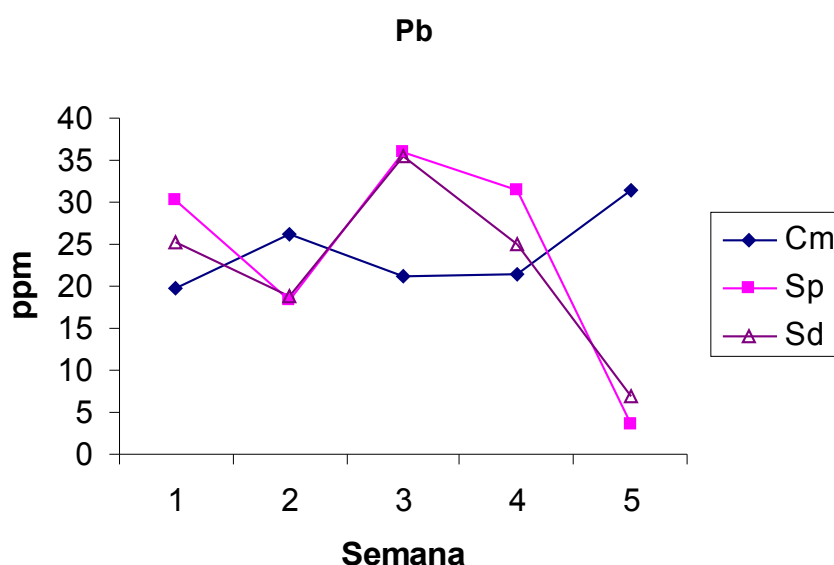


Figura 17. Comportamiento promedio de la concentración de Pb en las tres estructuras.

En la Figura 17 se observa gráficamente un patrón de comportamiento desigual entre las tres estructuras, teniendo así concentraciones diferentes y variadas durante el tiempo en que se realizó el muestreo. No obstante, el análisis

estadístico reveló que la concentración de este elemento en cada semana de muestreo fue similar en cada estructura ($p>0.05$), excepto en la semana 5.

En el Cuadro 19 se indican los valores de media y desviación estándar de la concentración de Pb en los lodos del fondo y líquidos residuales de la parte media a lo largo de las cinco semanas de muestreo.

Cuadro 19
CONCENTRACIÓN (ppm) DE Pb EN CÁRCAMO, SEPARADOR Y
SEDIMENTADOR

Pb	Semana				
Estructura	1	2	3	4	5
Cárcamo					
Parte Media	12.74±10.24	0±0	0±0	22.74±1.05	0±0
Fondo	26.99±14.14	52.24±1.76	42.25±3.18	21±4.24	29.74±4.59
Separador					
Parte Media	16.24±11.66	10.5±14.84	55.49±78.48	37.99±20.49	2.75±3.88
Fondo	44.24±15.19	25.99±12.72	16.5±23.33	24.99±2.82	4.24±1.76
Sedimentador					
Parte Media	11.04±1.57	0±0	27.67±2.75	16.49±3.53	0±0
Fondo	39.49±5.66	37.75±3.88	43.49±9.18	33.74±3.88	13.74±5.3

Se puede observar en el Cuadro 19 que en las semanas 2 y 3 del cárcamo y semana 2 y 5 del sedimentador, en los líquidos residuales de la parte media de las fosas no fue posible la detección de Pb.

Como se observa en la Figura 18, se presentó un patrón de inestabilidad en cuanto a la concentración de Pb, sin embargo, es en los lodos del fondo de cada estructura fue donde se obtuvo mayor concentración de este elemento, principalmente en la estructura que corresponde al cárcamo y al sedimentador. En lo que respecta a la fracción líquida de la parte media se observan patrones de comportamiento muy inestables teniendo que en ocasiones no hay presencia de este elemento.

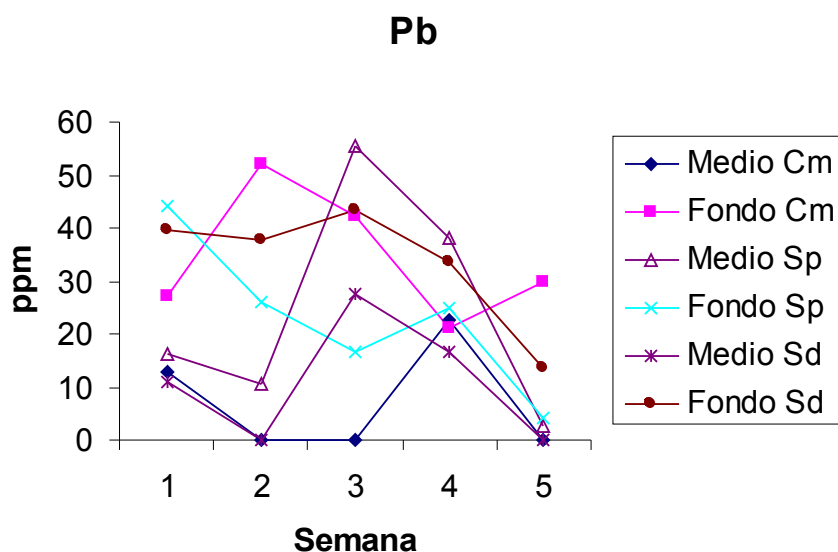


Figura 18. Comportamiento promedio de la concentración de Pb de acuerdo a la profundidad en las tres estructuras.

En la semana 1, 2 y 5 se observa que hay presencia de Pb en todas las estructuras en los dos niveles, y se observa claramente como hay diferencia de concentración en los lodos y en la fracción líquida ($p < 0.05$). En la semana 2 se nota una disminución de concentración de Pb en la fracción líquida de las tres estructuras y en los lodos de la estructura correspondiente al separador. No así en los lodos del cárcamo y sedimentador en donde se aprecia un aumento de concentración de este elemento. En la semana 3 las concentraciones de Pb son muy variadas en las tres estructuras en ambos niveles comparada con la semana anterior, teniendo que en el sedimentador aumenta la concentración de este elemento en los lodos y en la fracción líquida. En el cárcamo disminuye la cantidad de plomo en los lodos y no se presenta este elemento mineral en la fracción líquida. En la estructura del separador aumenta la concentración de plomo en la fracción líquida y disminuye en los lodos comparada con la semana anterior de muestreo. En la semana 4 las estructuras que habían presentado un aumento de Pb registran disminución de la concentración comparado con la semana anterior excepto la parte que corresponde a la parte media del cárcamo, en donde se observa un aumento de concentración.

Finalmente en la semana 5 todas las estructuras siguen una tendencia a disminuir la concentración de Pb con excepción del cárcamo que presenta un aumento en su concentración.

Los resultados del análisis de varianza de la variable concentración de Pb en cada una de las semanas se señalan en el Cuadro 20.

Cuadro 20

ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA CONCENTRACIÓN DE Pb

Fuente de Variación	Semana				
	1	2	3	4	5
Estructura					**
Profundidad	**	**			**
Estructura x Profundidad		*			**

* Significativo $P < 0.05$

** Altamente significativo $P < 0.01$

Los resultados del Cuadro 20 corresponden al los comportamientos observados en las Figuras 17 y 18. Sólo hubo diferencias altamente significativas de las concentraciones de Pb entre las estructuras en la semana 5. Mientras que se manifestó una diferencia altamente significativa entre profundidad en las semanas 1, 2 y 5. La interacción de estos factores (estructura por profundidad) fue significativa en la semana 2 y altamente significativa en la semana 5.

Niquel (Ni)

En el Cuadro 21 se muestra la media y desviación estándar de la concentración de Ni correspondientes a cada estructura: cárcamo, separador y sedimentador.

Cuadro 21

MEDIA Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE CONCENTRACIÓN (ppm) DE NIEN CADA ESTRUCTURA

Ni	Semana				
	1	2	3	4	5
Estructuras					
Cárcamo	15.4±4.41	14.57±1.61	21.3±9.74	18.56±7.17	20.59±1.97
Separador	16.12±1.82	27.79±12.57	16.71±2.01	22.84±0.78	25.67±3.98
Sedimentador	20.37±5.24	19.57±9.06	27.00±8.93	22.75±4.01	29.11±2.93

En la Figura 19 se aprecian las variaciones en la concentración de Ni de acuerdo a cada semana de experimentación.

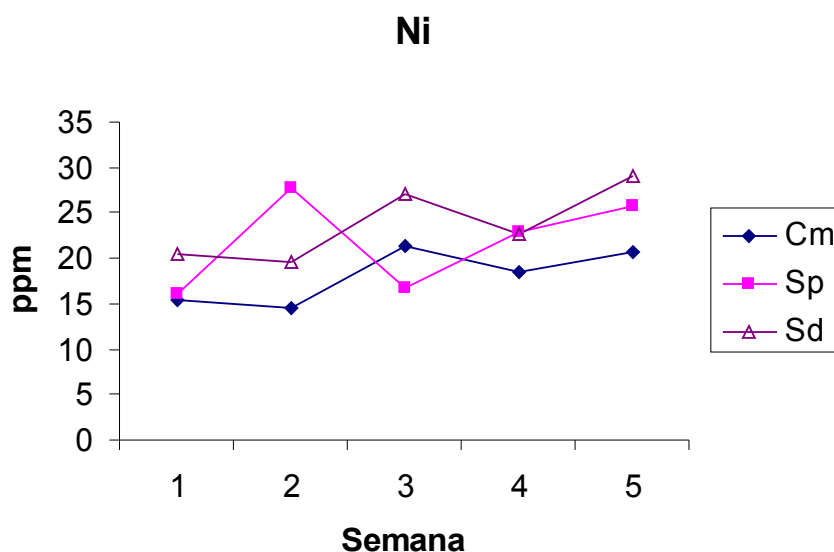


Figura 19. Comportamiento promedio de la concentración de Ni en las tres estructuras.

En la figura 19 se observa que hay uniformidad en concentración del elemento Ni en cada semana de muestreo, observándose que la estructura que presentó mayor concentración de Ni es la fosa de sedimentación. Por el contrario la fosa con menor cantidad de este elemento fue la estructura correspondiente al cárcamo. Se puede observar también que el cárcamo y el sedimentador presentaron un patrón de comportamiento similar y estable en cuanto a concentración en las cinco semanas en las que se realizó el muestreo.

Sin embargo, en el análisis estadístico se observó que existe diferencia ($p < 0.05$) de acuerdo a la estructura en las semanas 1, 2 y 5.

En el Cuadro 22 se muestran los valores de media y desviación estándar de las concentraciones de Ni en los lodos del fondo y los líquidos residuales de la parte media de las estructuras de tratamiento en las cinco semanas en las que se realizó el muestreo.

Cuadro 22

CONCENTRACIÓN (ppm) DE NI EN CÁRCAMO, SEPARADOR Y SEDIMENTADOR

Ni	Semana				
Estructuras	1	2	3	4	5
Cárcamo					
Parte Media	18.9±2.94	13.2±0.14	25.28±13.62	23.62±6.18	19.49±0.28
Fondo	11.89±0.84	15.94±0.49	17.32±5.97	13.5±3.67	21.69±2.61
Separador					
Parte Media	15.09±0.56	18.9±12.3	17.99±2.33	22.74±0.42	24.27±0.81
Fondo	17.14±2.33	36.69±2.54	15.42±0.24	22.94±1.27	27.07±6.26
Sedimentador					
Parte Media	24.48±3.65	12.04±3.74	34.73±0.18	23.44±6.72	27.69±3.95
Fondo	16.27±1.31	27.1±2.47	19.27±0.38	22.07±1.16	30.54±1.41

La concentración de Ni presento mucha variación en las diferentes estructuras y profundidades como se puede apreciar en la Figura 20.

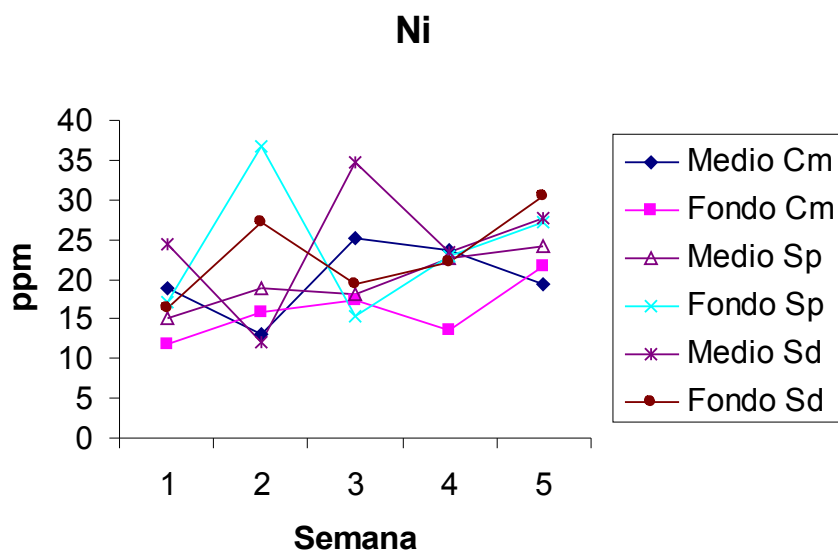


Figura 20. Comportamiento promedio de la concentración de Ni de acuerdo a la profundidad en las tres estructuras.

En la figura 20 se puede observar una gran inestabilidad de las concentraciones de Ni principalmente en lo correspondiente a la fracción líquida de cada estructura, sin embargo no se pierde el patrón de comportamiento donde se observa que en los lodos del fondo se encuentra contenida la mayor concentración de este elemento, principalmente en la fosa de sedimentación.

En la semana 1 la concentración de Ni es muy similar en las tres estructuras, presentando mayor cantidad la fracción líquida de las tres estructuras. En la semana 2 hay un aumento de concentración en los lodos del cárcamo, separador y sedimentador, así mismo de la fracción líquida del separador. Sucede lo contrario con la fracción líquida del cárcamo y sedimentador en los cuales la concentración de este elemento disminuye.

En la semana 3 hay una disminución de concentración de Ni en los lodos del cárcamo, separador y sedimentador, así mismo de la fracción líquida del separador. Ocurre lo contrario con la fracción líquida del cárcamo y sedimentador en donde los niveles de Ni aumentan. En la semana 4 hay un aumento de concentración en los lodos del separador y sedimentador, así mismo de la fracción líquida del separador. En los lodos del cárcamo, fracción líquida del cárcamo y sedimentador los niveles de Ni disminuyen.

Finalmente en la semana 5 aumentan ligeramente las concentraciones de Ni en las tres estructuras excepto en la fracción líquida del cárcamo la cual presenta una ligera disminución.

Es importante señalar que de acuerdo a la profundidad en cada estructura se obtuvo una diferencia estadística ($p < 0.05$) en las semanas 1, 2 y 3.

Los resultados del análisis de varianza de la concentración de Ni en cada una de las semanas se indican en el Cuadro 23.

Cuadro 23

ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA CONCENTRACIÓN DE Ni

Fuente de Variación	Semana				
	1	2	3	4	5
Estructura	*	*		*	
Profundidad	*	**	*		
Estructura x Profundidad	*				

* Significativo $P < 0.05$

** Altamente significativo $P < 0.01$

Los resultados corresponden a las variaciones observadas en las figuras 19 y 20, y se puede apreciar que existen diferencias de concentración entre las estructuras en la semana 1, 2 y 5. Mientras que existen diferencias ($p<0.05$) entre profundidades en las semanas 1 y 3 en tanto que en la semana 2 las diferencias en profundidad son altamente significativas. En lo que respecta a la interacción estructura por profundidad sólo se obtuvo una diferencia significativa en la semana 1.

Fósforo (P)

En el Cuadro 24 se muestra la media y desviación estándar de la concentración de fósforo correspondiente a cada estructura: cárcamo, separador y sedimentador.

Cuadro 24

MEDIA Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE CONCENTRACIÓN (ppm) DE P EN CADA ESTRUCTURA

P	Semana				
Estructuras	1	2	3	4	5
Cárcamo	1.97±0.98	1.88±1.35	3.83±0.39	3.03±0.62	2.44±1.64
Separador	3.56±0.79	2.19±0.62	4.45±1.75	3.69±0.45	4.39±0.83
Sedimentador	3.33±1.5	3.3±1.64	4.00±1.53	2.90±1.47	3.06±01.07

La variación presente en la concentración de este elemento durante las semanas de estudio se muestra en la Figura 21.

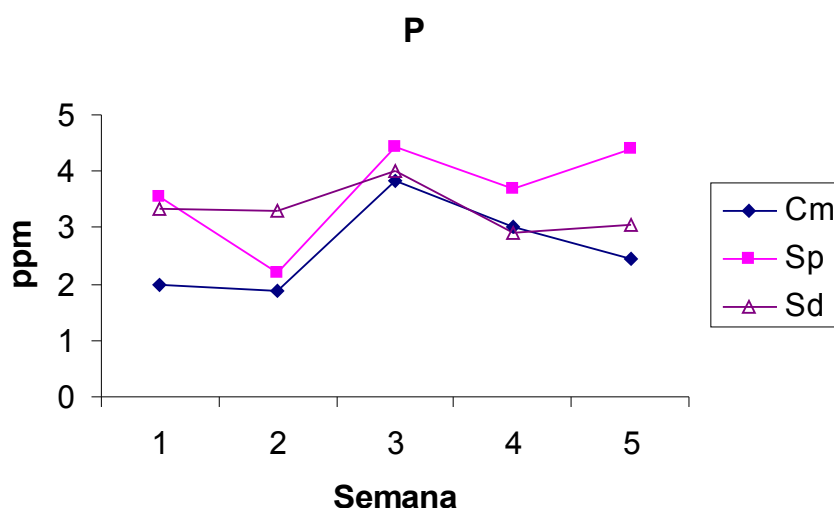


Figura 21. Comportamiento promedio de la concentración de P en las tres estructuras.

En donde se puede observar que la concentración de P en cada estructura es muy similar y constante en las cinco semanas en las que se realizó el muestreo, teniendo así que en la semana 3 se registró la mayor concentración de este elemento comparado con el resto. No obstante sólo se obtuvo diferencia de concentración de acuerdo a la estructura ($p < 0.05$) en la semana 1, 2 y 5.

En este caso la estructura que presentó mayor concentración de P fue la del separador, excepto en la semana 2, en donde la fosa de sedimentación fue la que tuvo mayor concentración, así mismo se observa que hay un efecto antagónico entre la fosa de sedimentación y la del cárcamo, tal cual se describió anteriormente.

En el Cuadro 25 se muestran los valores de media y desviación estándar de las concentraciones de P en los lodos del fondo y los líquidos residuales de la parte media de las estructuras del sistema de tratamiento en donde se realizó el muestreo.

Cuadro 25
CONCENTRACIÓN (ppm) DE P EN CÁRCAMO, SEPARADOR Y
SEDIMENTADOR

P	Semana				
Estructuras	1	2	3	4	5
Cárcamo					
Parte Media	1.36±1.07	0.71±0.03	4.15±0.23	3.37±0.1	1.15±1.18
Fondo	2.58±0.5	3.05±0.07	3.51±0.01	2.69±0.83	3.73±0.19
Separador					
Parte Media	2.89±0.07	1.66±0.2	4.72±2.97	3.39±0.05	3.77±0.69
Fondo	4.24±0.26	2.72±0.02	4.18±0.25	3.98±0.5	5.01±0.29
Sedimentador					
Parte Media	2.09±0.16	1.9±0.31	2.69±0.36	1.63±0.05	2.13±0.03
Fondo	4.58±0.7	4.7±0.36	5.31±0.28	4.18±0.07	3.99±0.03

La concentración de P en las diferentes profundidades evaluadas fue variable como puede observarse en la Figura 22.

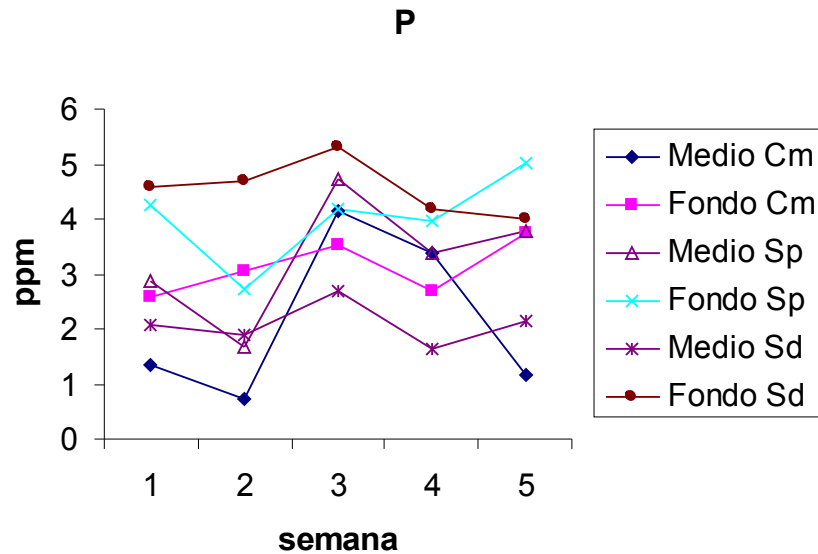


Figura 22. Comportamiento promedio de la concentración de P de acuerdo a la profundidad en las tres estructuras.

En la figura 22 se observa que la mayor concentración de P se obtuvo de los lodos, teniendo mayor concentración de este elemento la fosa de sedimentación.

En la semana 1 se observa mayor concentración de este elemento en el separador, sedimentador y cárcamo, el cual asemeja su concentración con la fracción líquida del separador, y se establece una diferencia de concentración entre los lodos y la fracción líquida.

En la semana 2 disminuye la concentración de P en el separador en ambas profundidades, al igual que la fracción líquida del cárcamo. Por otro lado se observa un aumento de concentración de este elemento en los lodos del cárcamo y sedimentador.

En la semana 3 se observa aumento en la concentración de P en las tres estructuras en ambas profundidades comparada con la semana anterior.

En la semana 4 hay disminución de la concentración de P en las tres estructuras, tanto en los lodos del fondo como en los líquidos residuales de la parte media, comparada con la concentración de la semana anterior.

En la semana 5 disminuyó la concentración de P en la fracción líquida del cárcamo y en los lodos del sedimentador. El resto de las estructuras en ambas profundidades presentó un ligero aumento comparado con la semana anterior.

El análisis estadístico reveló que de acuerdo a la profundidad, la concentración de P fue diferente ($p < 0.05$) en las semanas 1, 2, 4 y 5.

Los resultados del análisis de varianza para la variable concentración de P en cada una de las semanas se indican en el Cuadro 26.

Cuadro 26

ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA CONCENTRACIÓN DE P

Fuente de Variación	Semana				
	1	2	3	4	5
Estructura	*	**			**
Profundidad	**	**		*	**
Estructura x Profundidad		**		**	

* Significativo $P < 0.05$

** Altamente significativo $P < 0.01$

Se aprecia diferencia significativa de acuerdo a la estructura en la semana 1 y altamente significativa en la concentración de P en las semanas 2 y 5. Se presentaron diferencias altamente significativas entre profundidades en las semanas 1, 2 y 5 de muestreo y una diferencia significativa en la semana 4. Así mismo se encontró efecto altamente significativo de la interacción profundidad por estructura en la semana 2 y 4.

Sodio (Na)

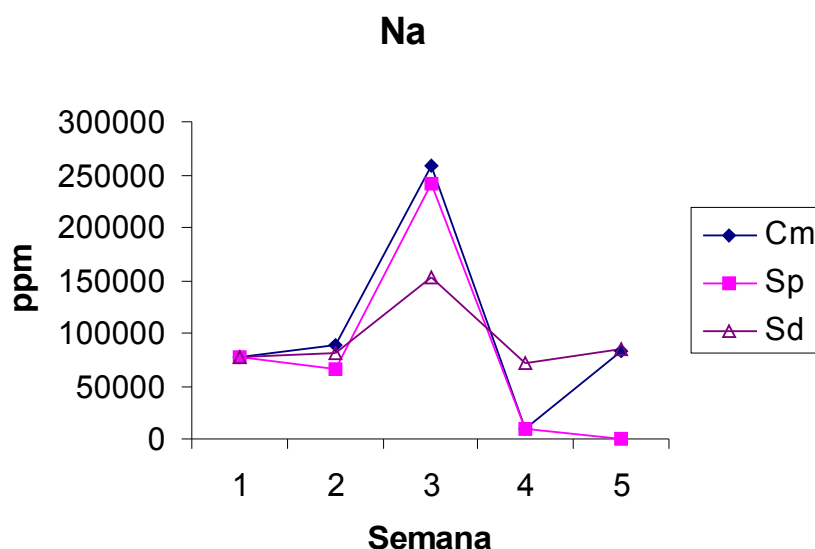
En el Cuadro 27 se señala la media y desviación estándar de la concentración de Na correspondiente a cada estructura; cárcamo, separador y sedimentador.

Cuadro 27

MEDIA Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE CONCENTRACIÓN (ppm) DE Na EN CADA ESTRUCTURA

Na	Semana				
Estructuras	1	2	3	4	5
Cárcamo	76977.98±120010.15	89222.22±89177.27	257993.7±328121.05	9071.14±3988.77	82850.8±82265.32
Separador	21930.54±10602.82	66697.47±45491.56	241406.99±312754.58	9275.22±3804.38	815.59±298.53
Sedimentador	98603.83±104267.52	81620.68±85898.59	152702.3±163480.47	71194.38±77286.44	84285.47±96893.24

En la
semana 3
la



concentración de sodio se elevó en las tres estructuras y se observa claramente en la Figura 23.

Figura 23. Comportamiento promedio de la concentración de Na en las tres estructuras.

En la Figura 23 se observa una inestabilidad muy marcada en la concentración de Na, teniendo un comportamiento irregular a lo largo de las cinco semanas de muestreo en cada estructura. Sin embargo se puede observar que la estructura que corresponde al cárcamo fue la que registró mayor concentración de este elemento comparada con las otras dos estructuras, excepto en la semana 4.

El análisis estadístico señala que sólo existe diferencia ($p < 0.05$) de acuerdo a la estructura en las semanas 2, 4 y 5.

En la Figura 23, también se puede apreciar el mismo antagonismo que existe entre la fosa del cárcamo y la del sedimentador.

En el Cuadro 28 se presentan los valores de media y desviación estándar de las concentraciones de Na en los lodos del fondo y los líquidos residuales de la parte media de todas las estructuras de tratamiento en las cinco semanas en las que se realizó el muestreo.

Cuadro 28
CONCENTRACIÓN (ppm) DE Na EN CÁRCAMO, SEPARADOR Y
SEDIMENTADOR

Na	Semana				
Estrucutras	1	2	3	4	5
Cárcamo					
Parte Media	128357.75±180674.57	16648.01±421.09	506419.43±275912.62	11916.89±3904.2	153920.71±9738.18
Fondo	25598.21±2117.87	11996.44±1514.35	9567.97±1061.93	6225.39±308.08	11780.88±2046.25
Separador					
Parte Media	29399.78±2194.18	106027±3748.63	127039.82±45252.31	12568.78±169.88	1032.48±175.84
Fondo	14461.3±10454.05	27367.53±2649	355774.16±488957.18	5981.67±34.05	598.71±219.72
Sedimentador					
Parte Media	188746.88±10581.85	156010.8±22.06	294167.19±1187.83	136625.21±28191.05	168184.33±2970.57
Fondo	8460.78±304.7	7230.55±378.72	11237.4±1780.54	5763.55±273.56	386.61±49.96

En la Figura 24 se señala la concentración de Na a diferentes profundidades de las estructuras de tratamiento, en las 5 semanas que duró el muestreo.

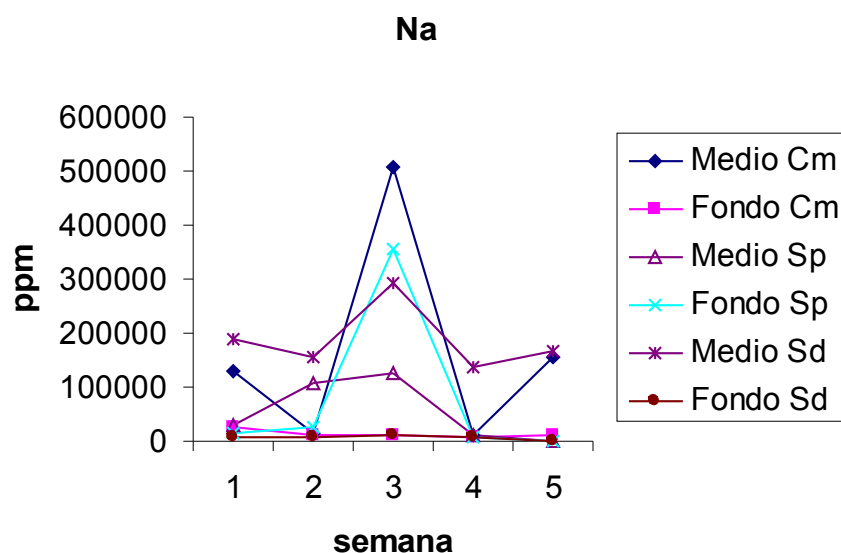


Figura 24. Comportamiento promedio de la concentración de Na de acuerdo a la profundidad en las tres estructuras.

Se puede observar en la Figura 24 inestabilidad en las concentraciones de Na durante los cinco muestreos realizados, teniendo así que la fracción líquida es la que presentó mayor cantidad de este elemento.

En la semana 1 se observó similitud y estabilidad en concentración de Na en las tres estructuras en ambas profundidades, sin embargo, si se compara la

cantidad contenida dentro de cada estructura es considerablemente diferente. Este comportamiento en la semana 2 fue similar.

En la semana 3 se observó un aumento considerable en la concentración de Na en las tres estructuras en las distintas profundidades, esto comparado con el muestreo de la semana anterior.

En la semana 4 se manifestó una disminución considerable en la concentración de dicho elemento en las tres estructuras en los dos niveles con respecto al muestreo anterior.

En la semana 5 la fracción líquida de la parte media del cárcamo y del sedimentador aumentó su concentración de Na, el resto de las estructuras se mantuvo en una concentración similar a la semana anterior.

De acuerdo al resultado del análisis estadístico, existió diferencia ($p < 0.05$) de concentración de Na de acuerdo a la profanidad en las semanas 1, 2, 4 y 5

Los resultados del análisis de varianza para la concentración de Na en cada una de las semanas se expresan en el Cuadro 29.

Cuadro 29

ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA CONCENTRACIÓN DE Na

Fuente de Variación	Semana				
	1	2	3	4	5
Estructura		**		**	**
Profundidad	*	**		**	**
Estructura x Profundidad		**		**	**

* Significativo $P < 0.05$

** Altamente significativo $P < 0.01$

Se manifestó una diferencia altamente significativa en la concentración de Na entre las estructuras en la semana 2, 4 y 5. Sucedió lo mismo en lo que corresponde a profundidad y la interacción estructura por profundidad, teniendo así un patrón de comportamiento similar después de la semana de inicio de muestreo excepto en la semana 3, en la cual el exceso de Na modificó los resultados del análisis de varianza por lo que no fue posible detectar variaciones. en lo correspondiente a la interacción de estructura por profundidad se observa un efecto altamente significativo en las semanas 2, 4 y 5

Nitrógeno amoniacal (NH_3)

En el Cuadro 30 se señalan los promedios de concentración y desviación estándar del NH_3 detectado en las muestras analizadas comparando las 3 estructuras.

Cuadro 30

MEDIA Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE CONCENTRACIÓN (ppm) DE NH_3 EN CADA ESTRUCTURA

NH_3	Semana				
Estructuras	1	2	3	4	5
Cárcamo	752.92±241.26	674.34±296.50	642.91±356.11	788.64±160.82	874.36±245.22
Separador	427.18±29.27	680.06±321.35	488.61±36.29	1022.94±439.92	1214.39±450.47
Sedimentador	678.63±234.62	1137.24±821.83	1207.25±889.78	1111.52±510.09	1248.68±613.70

En la Figura 25 se presenta la variación en la concentración de NH_3 a través de las cinco semanas de muestreo.

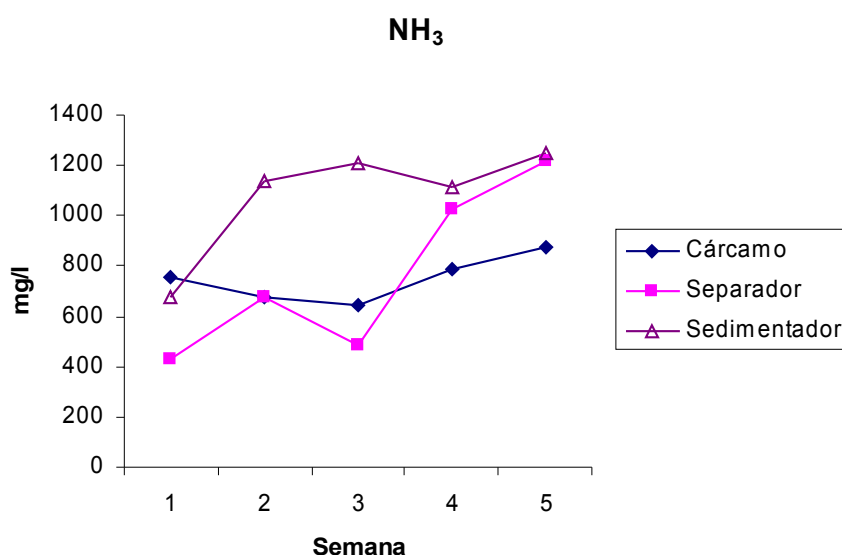


Figura 25. Comportamiento promedio de la concentración de NH_3 en las tres estructuras.

en la Figura 25 se puede observar que la concentración de NH_3 tiene una tendencia a aumentar conforme pasó el tiempo, teniendo así que en la semana 1 se detectó la menor concentración de NH_3 comparada con las siguientes semanas.

Se aprecia también que la estructura del cárcamo presenta una estabilidad en concentración en cada muestreo, no así en el sedimentador, el cual tiende a aumentar en la semana 2, 3 y 5.

En el Cuadro 32 se indica la concentración de NH_3 a diferentes profundidades en las cinco semanas de muestreo.

Cuadro 31

CONCENTRACIÓN (ppm) DE NH_3 EN CÁRCAMO, SEPARADOR Y SEDIMENTADOR

NH_3	Semana				
Estructura	1	2	3	4	5
Cárcamo					
Parte Media	960.08±40.40	920.08±113.14	868.64±420.26	834.36±258.62	1045.8±250.54
Fondo	545.76±36.36	428.61±96.98	417.18±0	742.92±48.49	702.92±8.08
Separador					
Parte Media	448.61±12.12	860.07±424.30	505.75±44.45	1402.98±12.12	1600.14±64.65
Fondo	405.75±24.24	500.04±12.12	471.47±28.28	642.91±52.53	828.64±96.98
Sedimentador					
Parte Media	817.21±290.95	1848.73±36.36	1977.32±48.49	1551.56±76.77	1780.16±4.04
Fondo	540.04±60.61	425.75±4.04	437.18±28.28	671.48±12.12	717.2±4.04

La Figura 26 señala la concentración ppm de NH_3 a diferentes profundidades y su variación a través de las semanas de muestreo.

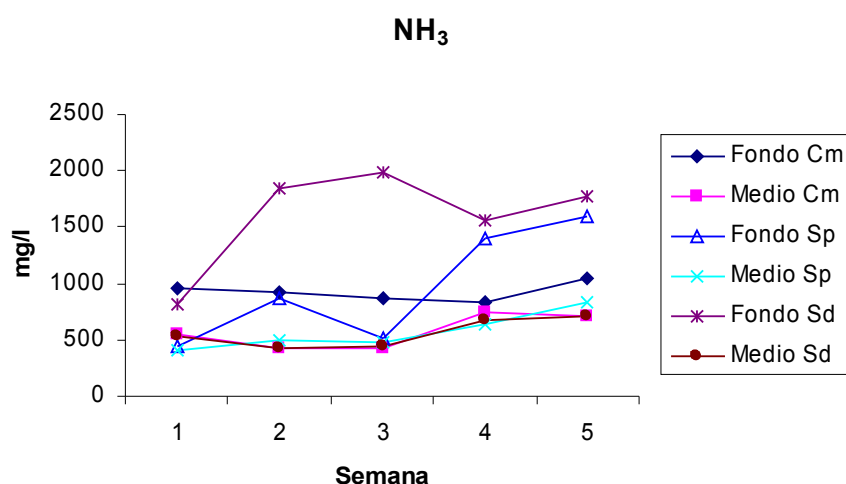


Figura 26. Comportamiento promedio de la concentración de NH_3 de acuerdo a la profundidad en las tres estructuras.

En la Figura 26 se aprecia claramente que la concentración de NH_3 se mantiene constante en las cinco semanas de muestreo, notándose un ligero aumento en la semana 4. Sin embargo no se pierde la estabilidad en la concentración de dicho elemento en el resto de las semanas.

También se puede ver que la estructura correspondiente al sedimentador es la que presentó en lo que es el fondo, la mayor concentración de este elemento, lo cual se puede apreciar mucho mejor en la semana 2 y 3, en las cuales es considerablemente notable la diferencia que hay en concentración del fondo del sedimentador con respecto a las otras estructuras.

Los resultados del análisis de varianza para la concentración de NH_3 en cada una de las estructuras y semanas se expresan en el Cuadro 33.

Cuadro 32

ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA CONCENTRACIÓN DE NH_3

Fuente de Variación	Semana				
	1	2	3	4	5
Estructura	*	*	**	*	**
Profundidad	*	**	**	**	**
Estructura x Profundidad		*	**	**	*

* Significativo $P < 0.05$

** Altamente significativo $P < 0.01$

En el Cuadro 33 se aprecia que hay diferencia de concentración en cada estructura en las cinco semanas de muestreo, y esta diferencia es altamente significativa en la semana 3 y 5.

En lo que respecta a concentración de acuerdo a la profundidad, se aprecia una diferencia significativa en la semana 1 y el resto de las semanas presentó una diferencia altamente significativa.

El efecto de interacción por profundidad fue altamente significativo en la semana 3 y 4, y sólo fue significativo en la semana 2 y 5.

Nitrógeno total (Nt)

En el Cuadro 34 se muestran los promedios de concentración y desviación estándar de concentración de Nt detectado en las muestras analizadas.

Cuadro 33.

MEDIA Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE CONCENTRACIÓN (ppm) DE Nt EN CADA ESTRUCTURA

Nt	Semana				
	1	2	3	4	5
Cárcamo	1542.53±925.60	1513.03±877.13	1413.09±995.41	1693.69±613.85	1678.04±881.96

Separador	716.99±35.23	1155.07±191.71	923.7±120.19	3104.64±1813.88	2778.39±1323.63
Sedimentador	1308.04±654.29	2640.25±2199.21	2630.88±2246.58	3212.77±1714.65	3323±2588.68

En la Figura 27 se presenta la variación de la concentración de Nt durante las semanas de muestreo, en las tres estructuras.

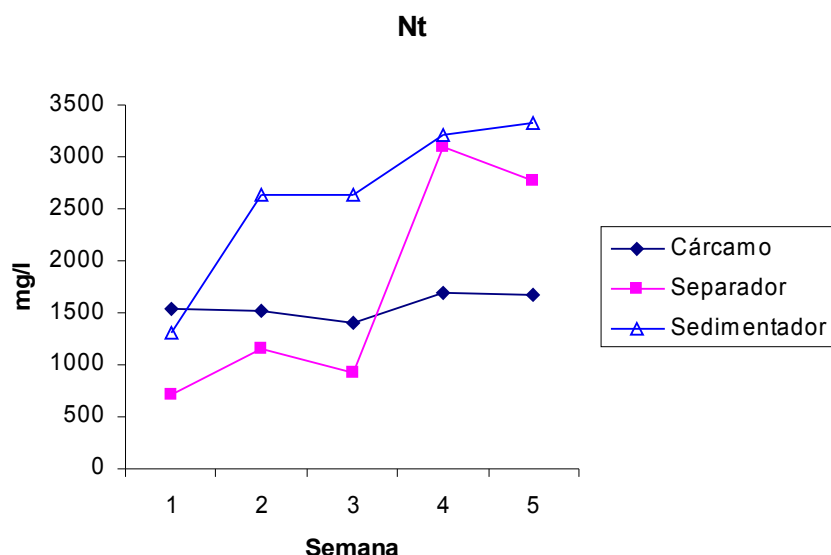


Figura 27. Comportamiento promedio de la concentración de Nt en las tres estructuras.

En la Figura 37 se observa que la estructura que corresponde al sedimentador, fue la que presentó mayor concentración de este elemento, y se nota un claro aumento en la semana 5 en la misma estructura. Este patrón de comportamiento, se observa de la misma manera en el cárcamo y separador, los cuales presentan una concentración similar en la semana 1, 2 y 3, no así en la semana 4 y 5 en donde se observa un aumento considerable de este elemento en la estructura del cárcamo.

Es importante señalar que la concentración de este elemento tiene a aumentar conforme pasó el tiempo en las tres estructuras, excepto en la semana 3.

El Cuadro 35 muestra la variación del Nt correspondiente a la parte media y al fondo de las tres estructuras, durante las semanas de muestreo.

Cuadro 34

CONCENTRACIÓN (ppm) DE Nt EN CÁRCAMO, SEPARADOR Y SEDIMENTADOR

Nt	Semana				
Estrucutras	1	2	3	4	5
Cárcamo					
Parte Media	2341.1±133.84	2269.87±122.85	2025.52±1213.21	2164.31±493.77	2182.35±1136.12
Fondo	743.96±38.11	756.19±42.07	800.67±20.81	1223.08±27.23	1173.74±159.63
Separador					
Parte Media	736.43±35.15	1319.6±2.65	1023.83±5.64	4643.45±630.73	3911.44±79.80
Fondo	697.56±31.26	990.54±44.39	823.57±56.62	1565.82±30.69	1645.35±338.37
Sedimentador					
Parte Media	1865.11±206.00	4543±166.51	4576.37±12.50	4666.47±605.81	5549.45±523.99
Fondo	750.98±24.14	737.5±5.08	685.4±40.65	1759.06±7.81	1096.55±31.88

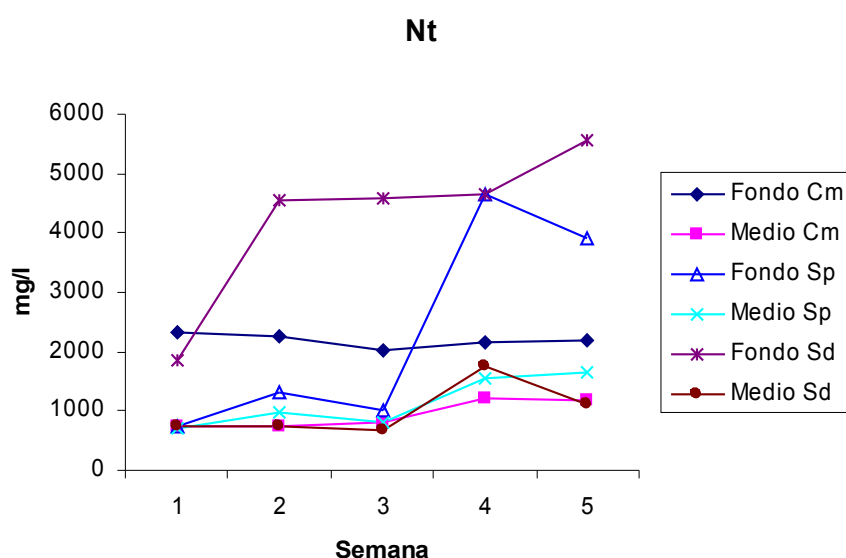


Figura 28. Comportamiento promedio de la concentración de Nt de acuerdo a la profundidad en las tres estructuras.

En la Figura 28 se muestra la concentración de Nt en los distintos niveles de las estructuras, durante las semanas de muestreo. Puede observarse una variación entre la parte del fondo y la parte media de las estructuras.

El patrón de comportamiento de la concentración de Nt es similar al descrito en la Figura 27. en lo que respecta a la profundidad, fue en el fondo de las tres

estructuras donde se detecto mayor concentración de Nt, destacando la fosa de sedimentación.

Los resultados de análisis de varianza de Nt se muestran en el Cuadro 36.

Cuadro 35

ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA CONCENTRACIÓN DE Nt

Fuente de Variación	Semana				
	1	2	3	4	5
Estructura	**	**	**	**	*
Profundidad	**	**	**	**	**
Estructura x Profundidad	**	**	**	*	*

* Significativo $P < 0.05$

** Altamente significativo $P < 0.01$

En el Cuadro 36 se observan diferencias altamente significativas en lo que es la estructura y la profundidad en las cinco semanas de muestreo, excepto en la semana 5 en donde solo se observa diferencia significativa en lo que corresponde a la estructura.

El efecto de interacción de estructura por profundidad es altamente significativo en las semanas 1, 2 y 3. Y solo es significativo en la semana 4 y 5.

4. DISCUSIÓN

Como se señaló en la introducción de la presente tesis, en México la concentración de minerales y nitrógeno amoniacal y total, en heces y orina contenida en los líquidos residuales de las granjas porcinas, ha sido muy poco estudiada. Por tal motivo la principal contribución de esta investigación es dejar un registro de tal composición, obtenida de diferentes estructuras y líquidos residuales analizados a diferente profundidad, en un sistema de tratamiento primario implementado en una granja porcina de mediana escala (100 vientos), productora de lechones. Este sistema consiste en la separación de sólidos y líquidos y la posterior sedimentación de estos últimos. El análisis de los resultados, permite acotar que las concentraciones obtenidas tendieron a fluctuar en las distintas semanas de muestreo, rompiendo un patrón de tendencia similar y esto se manifestó en cada uno de los elementos analizados. Posiblemente la causa de estos resultados se debe a la forma en que los trabajadores operan el sistema de tratamiento de aguas residuales de la granja, ya que, aún cuando se les señaló que operarían con un mismo flujo el líquido, y en las mismas condiciones y tiempo de llenado o vaciado las estructuras, el nivel de líquido residual en cada una de estas no fue el mismo durante las semanas en que se realizó el muestreo.

Por otra parte, el tipo de variaciones en la concentración de los elementos analizados pudo estar influenciado por el tipo y cantidad de alimento utilizado, así como por la edad y el estado fisiológico de los animales. De acuerdo con Pérez – Espejo ²¹ la contaminación ambiental que generan los desechos de las granjas porcinas esta dada por la cantidad de heces y orina que los cerdos eliminan, así como por la composición y grado de dilución de tales desechos, que esta en función del metabolismo y excreción que hacen de los elementos minerales contenidos en el alimento y del agua que beben la cual puede variar dependiendo de la edad del animal y su etapa fisiológica, mismos que están directamente relacionados con la cantidad y calidad del alimento que los animales ingieren diariamente. Además, del volumen de agua que consumen y eliminan los cerdos, está directamente relacionado con el clima y la disponibilidad del preciado líquido.

Y otros factores, principalmente el manejo del agua que hacen los trabajadores al limpiar las instalaciones de la granja, todos los cuales determinan variaciones en la composición de las aguas residuales de la granja porcina.²⁷

Como se mencionó en el capítulo de material y métodos, se determinó usar el promedio diario que señala la NOM-001-Ecol-1996 ya que fue más afín a los objetivos planteados en esta investigación. En general se puede apreciar específicamente, que en la concentración de cada elemento mineral así como en la concentración de N-amoniacal y N-total, se encontró variación significativa en la composición de cada líquido residual proveniente de diferente profundidad, en cada estructura, además, se registró una composición distinta que manifestó variaciones de una semana a la siguiente de muestreo. Este resultado es muy importante, especialmente cuando se toma en cuenta el punto de vista de los dueños de las granjas, que buscan integrar un método de tratamiento de tales aguas residuales, que disminuya los niveles de elementos contaminantes, lo que no ocurrió en la presente investigación.

Para el elemento Zn la NOM-001-ECOL-1996 establece como límite máximo permisible (LMP) 20 mg/litro (ppm). Los resultados registrados en el presente estudio muestran que el agua residual de la granja contiene 27.41 ppm promedio, por lo que visiblemente el sistema de tratamiento adoptado no cumple con lo establecido por la Norma.

Para el elemento Fe la NOM-127-SSA1-1994 establece como LMP 0.3 ppm contenido en el líquido residual. Las cantidades obtenidas en esta investigación fueron 107.59 ppm, en el agua residual de la granja. La principal fuente de este elemento es la alimentación de los cerdos y pudiera haber una contribución importante por parte de las tuberías de abastecimiento de agua que utilizan en la granja. De cualquier forma el sistema de tratamiento adoptado no cumple con lo establecido por la Norma.

Para el elemento Cu la NOM-001-ECOL-1996 establece en agua residual de uso de riego agrícola, una concentración de 6 ppm. La concentración encontrada en las aguas residuales de la granja en estudio fue de 3.21 ppm en promedio. La diferencia en la concentración de este elemento en una misma estructura no es muy grande.

Para el elemento Cd la NOM-001-ECOL-1996 establece como límite máximo permisible una concentración de 0.1 ppm. En el estudio realizado se determinó una concentración promedio de 0.11 ppm, además la concentración en general fue uniforme en cuatro muestreos excepto en el muestreo realizado en la segunda semana. Debido a que se observó una concentración similar dentro de las tres estructuras, en todos los casos una concentración elevada, se puede aseverar que el sistema de tratamiento adoptado no cumple con lo establecido por la Norma.

Para el elemento Mn la NOM-127-SSA1-1994 establece como concentración máxima permitida 0.15 ppm en agua. En esta investigación la cantidad promedio detectada en el agua residual fue de 6.94 ppm, muy por encima de la cantidad máxima permitida. Además de que se presentó diferente concentración entre las tres estructuras, se presentaron variaciones entre las semanas que son difíciles de explicar. Por lo cual, para este elemento tampoco el sistema de tratamiento adoptado cumple con lo establecido por la Norma.

Para el elemento Pb la NOM-001-ECOL-1996 el límite máximo permisible es de una concentración de 10 ppm, en este estudio la cantidad registrada promedio del elemento fue 0.68 ppm, por lo cual para este elemento las aguas residuales porcinas no tienen problemas con la Norma. Sin embargo, un factor importante sería determinar cual es la razón de haber detectado plomo dentro del agua residual analizada.

La concentración máxima permitida por la NOM-001-ECOL-1996 del elemento Ni es de 4 ppm. La concentración promedio registrada en esta investigación fue de 0.62 ppm. En este elemento fue notoria la diferencia en concentración de los distintos niveles analizados en cada estructura..

Para el elemento P la NOM-001-ECOL-1996 indica un límite máximo permisible en aguas residuales para verter en ríos o embalses naturales o artificiales y que estas sean utilizadas con fines agrícolas, entre 20 y 30 ppm. En las 3 estructuras tanto el líquido de la parte media como el lodo del fondo, presentó una cantidad menor de este elemento. Por tanto, al menos en este mineral las aguas residuales de granjas como la del estudio, no presentan problemas para hacer con ellas un uso agrícola. La principal fuente de P en las aguas residuales es, como en los elementos anteriores, la ración que reciben los animales, por lo que se debe revisar la cantidad incluida en las premezclas

minerales y en los ingredientes que conforman la dieta, para reducir la cantidad de minerales que es excretada en heces y orina, tomando en cuenta, como generalmente se hace con el fósforo, la cantidad de elemento que es disponible para el animal.

Para el elemento Na la NOM-127-SSA1-1994 establece como límite máximo permisible del elemento sodio una concentración de 200 ppm. En el agua residual analizada en la granja se detectó una concentración promedio fue 2635.5 ppm y en algunas estructuras o en ciertas semanas (probablemente por el encalado de algunas instalaciones) esta concentración se incremento significativamente ($p < 0.01$), por lo cual el sistema de tratamiento adoptado no cumple con lo establecido por la Norma.

Es importante señalar que las maternidades (4) de esta granja son encaladas cada semana con una mezcla de 4 kg de cal por 1 kg de sal mezclado en 10 litros de agua, y se utilizan alrededor de 100 litros de esta mezcla semanalmente, por lo que esta es la posible causa de que el sodio este en grandes concentraciones. Otro factor a considerar es el alimento, en donde se incluye un 0.3 % de Sal por tonelada de alimento.

En cuanto a la determinación de N-amoniaco, la NOM-127-SSA1-1994 establece como límite máximo permisible una concentración de 0.5 ppm. En este estudio se detectaron niveles muy altos (25.38 ppm), a pesar de que de acuerdo con la literatura ésta molécula al estar en un proceso de reducción por parte de las bacterias, tiende a volatilizarse en forma de gas por lo que resulta complicado detectarse.^{26,28} Sin embargo, por las características que tienen las estructuras, la superficie de volatilización es reducida. Como se mencionó antes, las fuentes de nitrógeno para los animales son las proteínas, por lo que la cantidad de nitrógeno no digerido excretado en heces y orina, puede ser metabolizado por las bacterias que se encuentran en las estructuras del sistema de tratamiento produciendo este contaminante, o bien puede favorecer la población de microorganismos que producen mayor cantidad de NH_3 , en consecuencia se pueden detectar niveles considerables de este elemento.

De acuerdo con Cole²⁷ y Canh²⁹, la concentración de cada elemento analizado en este trabajo depende en gran medida del animal y de la etapa fisiológica en la que se encuentra, así mismo el tipo de alimentación juega un importante en

la excreción de ciertos minerales, así como también en la producción de amoníaco.

Con respecto a la cantidad de N-total, la NOM-001-ECOL-1996 establece como límite máximo permisible en las aguas residuales 40 a 60 ppm. En este estudio, las concentraciones de las aguas residuales de las tres estructuras en ambos niveles, estuvieron cercanas (58.08 ppm) al límite máximo permisible. Probablemente la cantidad fue elevada por las mismas razones indicadas para el nitrógeno amoniacal. Dado que el principal origen del nitrógeno excretado es la cantidad de proteína ingerida que no es adecuadamente metabolizada. Lo más importante de acuerdo con diversos investigadores, es que no debe excederse el nivel de proteína de la dieta que los animales necesitan y se debe vigilar el balance de aminoácidos, para reducir las pérdidas de nitrógeno no digerido o inadecuadamente metabolizado.

Cabe aclarar que la NOM-001-ECOL-1996²⁹ es la única o principal norma que se les exige cumplir a las granjas porcinas, sin embargo, esta no es una Norma específica para este u otro tipo de industria pecuaria. Se puede aseverar que un sistema de tratamiento de las aguas residuales como el utilizado en la presente investigación, no cumple con los requisitos de la norma para este tipo de aguas residuales, por lo que estas no debieran descargarse sobre el suelo, mucho menos sobre causas naturales de agua. Para hacerlo se deben implementar procedimientos de tratamiento que disminuyan la concentración de los elementos minerales, principalmente Zn, Fe, Cd, Mn, Na y las cantidades contaminantes de N-amoniacal y N-total.

La información generada permite describir que (contrario a los que se pensaba) no todos los elementos se sedimentan, al menos a la misma velocidad, el Zn, Fe, Cu, Mn, Pb, P, N-NH₃ y N-Total tuvieron mayor concentración en los lodos del fondo y una concentración intermedia en el agua residual de la parte media de las estructuras; en tanto que Cd, Ni y sobre todo Na, presentaron mayor concentración en los líquidos residuales de la parte media y una cantidad variable en los lodos del fondo. Por lo cual, sin pasar por alto la variación que se manifestó entre semanas, se tiene que planear y programar que para aquellos elementos que no se sedimentan rápidamente, se deben integrar al sistema de tratamiento de aguas residuales, procesos de floculación que aceleren la sedimentación y otros procesos de filtración o separación, que

finalmente disminuyan la concentración de elementos hasta los niveles que señala la NOM-001-ECOL-1996.

5. CONCLUSIONES

Las conclusiones derivadas bajo las condiciones de este estudio son:

El sistema de tratamiento primario con el cual se realizó el presente estudio no es efectivo, debido a que varios de los elementos minerales analizados (excepto el Cu, Pb, Ni y P) no cumplen con las especificaciones de la NOM-001-ECOL-1996 y la NOM-127-SSA1-1994.

El sistema de tratamiento primario no es efectivo, debido a que no disminuye la cantidad de contaminantes presentes en el agua residual, al avanzar el líquido dentro del sistema de tratamiento, por lo que es conveniente someter este tipo de aguas residuales de granjas porcinas a tratamientos más complejos.

Proporcionar sólo tratamientos primarios no es suficiente debido a que generan agua extremadamente contaminada con gran cantidad de SST: materia orgánica, elementos minerales (Zn, Fe, Cd, Mn, Na), NH_3 y Nt, que permanecen en el agua después de este tipo de tratamiento.

En lo que se refiere al P, señalado por la literatura como el principal contaminante de este tipo de efluentes, las tres estructuras tanto en el agua residual de la parte media como en el lodo del fondo, presentaron una cantidad menor al límite máximo permitido por la NOM-001-ECOL-1996. Por tanto, al menos en este elemento mineral las aguas residuales de granjas como la del presente estudio no tienen problemas para hacer de ellas un uso agrícola.

6. RECOMENDACIONES

Se deben vigilar las fuentes y disponibilidad de proteína y de cada elemento mineral en la dieta, ya que (como se mencionó en la discusión del elemento fósforo) la principal presencia de estos contaminantes en las aguas residuales tiene su origen en la cantidad en que son incluidos en la ración de los animales. Cuando no se utilizan elementos minerales disponibles o no se pone atención en la cantidad de proteína suministrada con la dieta, es el momento en que mayor presencia de contaminantes se encontrarán en las aguas residuales de las granjas porcinas.

El sistema de operación del agua residual utilizado en la granja es a base de lotes, lo que ocasiona, que los valores presentados en este trabajo sean extremadamente alejados de lo que señalan las Normas, por lo que es necesario rediseñar el sistema de operación para las aguas residuales y que fluyan en forma continúa.

Debido a la variación que se manifestó en la concentración de los distintos contaminantes, tanto entre estructuras como entre semanas, se tiene que planear y programar que para aquellos elementos que no se sedimentan rápidamente, se deben integrar al sistema de tratamiento de aguas residuales, procesos de floculación que aceleren la sedimentación y otros procesos de filtración o separación, que finalmente disminuyan la concentración de elementos hasta los niveles que señala la NOM-001-ECOL-1996.

7. BIBLIOGRAFÍA

1. Fernández GJ. Enciclopedia práctica de la agricultura y la ganadería. Barcelona, España: Océano, 1999.
2. Poder Ejecutivo Federal. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Pesca, México
3. Hernández PP, Gutiérrez ZC. Tratado de libre comercio y salud ambiental en México. Salud pública de México. Marzo 1993, Volumen 35, No 2.
4. SAGARPA. Situación actual y perspectiva de la producción de carne de porcino. (Dgg estudio stipor 02.pdf). <http://www.sagarpa.gob.mx>. México, DF 2002.
5. Ramírez, H. G., Martínez, G. R., Castrejón, P. F. A., Herradora, L. M. Ensilaje como método de eliminación de agentes patógenos de la fracción sólida de las excretas porcinas antes del reciclaje. Memorias IV jornada internacional en producción porcina. México, DF. 2003 Mayo 22 – 23. Universidad Nacional Autónoma de México, 2003: 167
6. 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.
7. Concellon MA. Construcciones prácticas porcinas. 3rd ed. España: Aedos, 1991: 117.
8. Colin W. Ciencia y Práctica de la producción Porcina. Ed. Acribia. Epaña, 1993
9. Mariscal Landín Gerardo. Tec. Pec. Mex. Utilización de heces en la alimentación animal caracterización químico- nutricional de heces de bovinos y porcinos, México, 2000. Volumen 28, No 2.
10. Tejada HI. Control de calidad y análisis de alimentos para animales. México, Secretaría de Educación Pública, 1992.
11. Labrador MJ. La materia orgánica en los agrosistemas 2da Ed. Ediciones Mundi Prensa. España, 2001
12. UNAM. Instituto de investigaciones económicas. XX Seminario de economía agrícola del tercer mundo. Interacciones ganadería y medio ambiente. Rosario Pérez Espejo.
13. Jiménez CBE. La contaminación ambiental en México. Ed. limusa.2001

14. Church CD y Pond WG. Fundamentos de nutrición y alimentación de animales. 2nd ed. México DF.: Limusa, 2003.
15. Balconi RI. Temas de actualidad para la industria porcina. México DF. : Midia relaciones, 1996, 20- 22.
16. Fundación la Caixa. Residuos ganaderos. Barcelona (España): Aedos, 1995, 5 – 9.
17. Tebutt THY. Fundamentos de control de calidad del agua. México: Limusa, 1999. 75 – 83
18. Departamento de sanidad del estado de Nueva York. Manual de tratamiento de aguas negras. México: Limusa, 1997.
19. Madigan TM. Biología de los Microorganismos. Ed. Prentice may. Madrid, 2003
20. García DM. Caracterización de enterobacterias a partir de un Sistema de tratamiento de aguas residuales de una granja porcina a pequeña escala (tesis de licenciatura). México; UNAM, 2005.
21. “Norma Oficial Mexicana que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales”, NOM-001-ECOL-1996 (“junio, 24, 1996”).
22. “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”).
23. Secretaría de Gobernación y gobierno del estado de México. Los municipios del estado de México. Colección: Enciclopedia de los municipios de México. México, DF., 1998
24. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Manual para procedimientos para el análisis de minerales en forrajes. México (DF): SARH, 1985.
25. Wayne WD. Bioestadística. México: Limusa, 1993.
26. Kuehl. RO. Diseño de experimentos. 2ª ed. Ed Thomson Learning. México, 2001.
27. Cole DJA. Principles of pig Science. Nottingham. 1994
28. Whitehead DC:. Grassland Nitrogen. Cab Internacional. UK. 1995

29. Cole DJA. Principles of Pig Science 1a ed. Nottingham University Press. 1994.
30. Canh TT. Journal of Animal Science. Vol 76 1998.