

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA METODOLOGÍA ANALÍTICA PARA LA
EVALUACIÓN DE AGUAS DE INFILTRACIÓN EN EL ACUEDUCTO
METROPOLITANO DE BUCARAMANGA E.S.P. S.A. (AMB)**

DEIBY QUINTERO CEPEDA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE QUÍMICA
BUCARAMANGA
2005**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA METODOLOGÍA ANALÍTICA PARA LA
EVALUACIÓN DE AGUAS DE INFILTRACIÓN EN EL ACUEDUCTO
METROPOLITANO DE BUCARAMANGA E.S.P. S.A. (AMB)**

DEIBY QUINTERO CEPEDA

Tesis de Grado

**Directora
Yolanda Vargas
Química, MCS.**

**Codirector
Carlos Manuel Parra
Químico, Jefe Departamento de Control Calidad Aguas
Acueducto Metropolitano de Bucaramanga s.a. E.S.P.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE QUÍMICA
BUCARAMANGA
2005**

Este trabajo esta dedicado a mis padres que con su apoyo y dedicación me permitieron la oportunidad de culminar mis estudios universitarios y así alcanzar esta primera meta en mi vida.

AGRADECIMIENTOS

A DIOS, A MIS PADRES Y HERMANOS.

AL ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA POR LA OPORTUNIDAD BRINDADA.

A LA PROFESORA LUZ YOLANDA VARGAZ POR EL TIEMPO Y TRABAJO DEDICADOS A LA DIRECCIÓN DE ESTE PROYECTO.

A CARLOS MANUEL PARRA JEFE DEL LABORATORIO DEL AMB POR SU COLABORACIÓN Y ESMERO EN LA CODIRECCIÓN DE ESTE TRABAJO.

AL PERSONAL QUE LABORA EN EL LABORATORIO DEL AMB POR SU COLABORACIÓN Y TIEMPO DEDICADOS.

A LOS CALIFICADORES POR EL TIEMPO DEDICADO A LA REVISIÓN Y CORRECCIÓN DE ESTE TRABAJO.

A CAROLINA, MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS.

CONTENIDO

	Pag.
INTRODUCCION	19
1. MARCO TEORICO	21
1.1 PERDIDAS DE AGUAS EN SISTEMAS DE ACUEDUCTO	21
1.1.1 Pérdidas en la aducción (agua cruda)	21
1.1.2 Pérdidas por necesidades de la planta de tratamiento	21
1.1.3 Pérdidas en la conducción (agua tratada)	21
1.1.4 Pérdidas técnicas en el sistema de acueducto	21
1.1.5 Pérdidas comerciales	22
1.2 AGUA NO CONTABILIZADA Y PERDIDA EN EL ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA	22
1.3 FISICOQUIMICA DEL AGUA	25
1.3.1 Procesos de absorción y cambio de iones en el suelo	25
1.3.2 Turbidez	27
1.3.3 Color	28
1.3.4 Conductividad	29
1.3.5 Alcalinidad	29
1.3.6 Dureza	30
1.3.7 Nitrógeno amoniacal	32
1.3.8 Nitrógeno de nitritos	32
1.3.9 Sulfatos	33
1.3.10 Cloruros	33
2. METODOLOGÍA	35
2.1 RECOLECCION DE LAS MUESTRAS DE SUELO	35
2.2 ANALISIS Y CLASIFICACION DE LAS MUESTRAS DE SUELO	36
2.3 ELABORACION DE LA COLUMNA DE EXPERIMENTACIÓN	37
2.4 MONTAJE N° 1	38

2.5 MONTAJE Nº 2	40
2.6 MONTAJE Nº 3	40
2.7 MONTAJE Nº 4	41
2.8 MONTAJE Nº5	42
2.9 MONTAJE Nº 6	44
2.10 EVALUACION DE PARÁMETROS FISICOQUIMICOS	45
3. RESULTADOS	46
3.1 FIGURAS DEL COMPORTAMIENTO POR PARÁMETRO EN CADA PRUEBA.	46
3.1.1 Prueba Nº 1	46
3.1.2 Prueba Nº 2	49
3.1.3 Prueba Nº 3	53
3.1.4 Prueba Nº 4	57
3.1.5 Prueba Nº 5	61
3.2 FIGURAS DE VALORES PROMEDIO	65
3.3 TABLAS DEL COMPORTAMIENTO POR PARÁMETRO EN CADA PRUEBA.	69
3.4 TABLAS DE VALORES PROMEDIO PARA CADA PARÁMETRO A LA ENTRADA Y SALIDA DE LA COLUMNA.	79
4. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	81
4.1 CONDUCTIVIDAD	81
4.2 ALCALINIDAD	82
4.3 DUREZA	83
4.4 Ph	84
4.5 CLORO RESIDUAL	85
4.6 NITROGENO AMONACAL	85
4.7 SULFATOS	86
4.8 CLORUROS	87
4.9 NITRITOS	88
4.10 ORTOFOSFATOS	88

4.11 ALUMINIO RESIDUAL	89
4.12 TURBIEDAD Y COLOR	89
5. CONCLUSIONES	90
6. RECOMENDACIONES	93
ANEXOS	94
BIBLIOGRAFÍA	95

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Porcentaje de pérdida de agua amb.	23
Figura 2. Volúmenes de pérdida de agua y agua no contabilizada amb.	24
Figura 3. Modelo de la columna de experimentación.	38
Figura 4. Montaje con conexiones directas a la presión de la tubería.	39
Figura 5. Terreno del tipo franco-arcilloso.	39
Figura 6. terreno franco-arcillo-arenoso.	41
Figura 7. Terreno franco-arenoso.	42
Figura 8. Montaje con abastecimiento de agua modificado.	43
Figura 9. Terreno areno-fcoso.	44
Figura 10. Terreno franco-arcillo-arenoso.	44
Figura 11. Comportamiento de la dureza en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 2.	46
Figura 12. Comportamiento de la conductividad en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 2.	46
Figura 13. Comportamiento de la turbiedad en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 2.	47
Figura 14. Comportamiento del cloro residual en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 2.	47
Figura 15. Comportamiento del color verdadero en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 2.	47
Figura 16. Comportamiento del ph en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 2.	48
Figura 17. Comportamiento del contenido de sulfatos en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 2.	48
Figura 18. Comportamiento del contenido de cloruros en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 2.	48

Figura 19. Comportamiento de la alcalinidad en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 2.	49
Figura 20. Comportamiento del contenido de aluminio en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 2.	49
Figura 21. Comportamiento de la dureza en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 3.	50
Figura 22. Comportamiento de la conductividad en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 3.	50
Figura 23. Comportamiento del contenido de cloro residual en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 3.	50
Figura 24. Comportamiento del ph en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 3.	51
Figura 25. Comportamiento del contenido de n-amoniacal en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 3.	51
Figura 26. Comportamiento del contenido de ortofósforos en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 3.	51
Figura 27. Comportamiento del contenido de sulfatos en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 3.	52
Figura 28. Comportamiento del contenido de cloruros en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 3.	52
Figura 29. Comportamiento de la alcalinidad en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 3.	52
Figura 30. Comportamiento del contenido de nitritos en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 3.	53
Figura 31. Comportamiento del contenido de aluminio en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 3.	53
Figura 32. Comportamiento del ph en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 4.	54

Figura 33. Comportamiento del contenido de cloro residual en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 4.	54
Figura 34. Comportamiento de la conductividad en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 4.	54
Figura 35. Comportamiento de la dureza en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 4.	55
Figura 36. Comportamiento del contenido de sulfatos en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 4.	55
Figura 37. Comportamiento del contenido de cloruros en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 4.	55
Figura 38. Comportamiento de la alcalinidad en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 4.	56
Figura 39. Comportamiento del contenido de nitritos en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 4.	56
Figura 40. Comportamiento del contenido de aluminio en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 4.	56
Figura 41. Comportamiento del pH en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 5.	57
Figura 42. Comportamiento del contenido de N-amoniacal en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 5.	57
Figura 43. Comportamiento del contenido de cloro residual en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 5.	58
Figura 44. Comportamiento del contenido de Ortofosfátos en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 5.	58
Figura 45. Comportamiento de la conductividad en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 5.	58
Figura 46. Comportamiento de la dureza en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 5.	59

Figura 47. Comportamiento del contenido de sulfatos en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 5.	59
Figura 48. Comportamiento del contenido de cloruros en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 5.	59
Figura 49. Comportamiento de la alcalinidad en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 5.	60
Figura 50. Comportamiento del contenido de nitritos en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 5.	60
Figura 51. Comportamiento del contenido de aluminio en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 5.	60
Figura 52. Comportamiento del pH en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 5.	61
Figura 53. Comportamiento del contenido de N-amoniacal en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 6.	61
Figura 54. Comportamiento del contenido de cloro residual en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 6.	62
Figura 55. Comportamiento del contenido de Ortofosfatos en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 6.	62
Figura 56. Comportamiento de la conductividad en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 6.	62
Figura 57. Comportamiento de la dureza en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 6.	63
Figura 58. Comportamiento del contenido de sulfatos en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 6.	63
Figura 59. Comportamiento del contenido de cloruros en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 6.	63
Figura 60. Comportamiento de la alcalinidad en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 6.	64

Figura 61. Comportamiento del contenido de nitritos en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 6.	64
Figura 62. Comportamiento del contenido de aluminio en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 65.	64
Figura 63. Representación gráfica de los valores promedio de pH en el agua a la entrada y salida de la columna, para las cinco pruebas realizadas.	65
Figura 64. Representación gráfica de los valores promedio de cloro residual en el agua a la entrada y salida de la columna, para las cinco pruebas realizadas.	65
Figura 65. Representación gráfica de los valores promedio de N-amoniaco en el agua a la entrada y salida de la columna, para las cinco pruebas realizadas.	65
Figura 66. Representación gráfica de los valores promedio de conductividad en el agua a la entrada y salida de la columna, para las cinco pruebas realizadas.	66
Figura 67. Representación gráfica de los valores promedio de cloruros en el agua a la entrada y salida de la columna, para las cinco pruebas realizadas.	66
Figura 68. Representación gráfica de los valores promedio de alcalinidad en el agua a la entrada y salida de la columna, para las cinco pruebas realizadas.	66
Figura 69. Representación gráfica de los valores promedio de ortofosfatos en el agua a la entrada y salida de la columna, para las cinco pruebas realizadas.	67
Figura 70. Representación gráfica de los valores promedio de aluminio en el agua a la entrada y salida de la columna, para las cinco pruebas realizadas.	67

Figura 71. Representación gráfica de los valores promedio de nitritos en el agua a la entrada y salida de la columna, para las cinco pruebas realizadas.	67
Figura 72. Representación gráfica de los valores promedio de sulfatos en el agua a la entrada y salida de la columna, para las cinco pruebas realizadas.	68
Figura 73. Representación gráfica de los valores promedio de dureza en el agua a la entrada y salida de la columna, para las cinco pruebas realizadas.	68

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos evaluados a las muestras de agua.	45
Tabla 2. Resultados obtenidos de la evaluación de parámetros fisicoquímicos en la prueba 1.	69
Tabla 3. Resultados obtenidos de la evaluación de parámetros fisicoquímicos en la prueba 1.	70
Tabla 4. Resultados obtenidos de la evaluación de parámetros fisicoquímicos en la prueba 2.	71
Tabla 5. Resultados obtenidos de la evaluación de parámetros fisicoquímicos en la prueba 2.	72
Tabla 6. Resultados obtenidos de la evaluación de parámetros fisicoquímicos en la prueba 3.	73
Tabla 7. Resultados obtenidos de la evaluación de parámetros fisicoquímicos en la prueba 3.	74
Tabla 8. Resultados obtenidos de la evaluación de parámetros fisicoquímicos en la prueba 4.	75
Tabla 9. Resultados obtenidos de la evaluación de parámetros fisicoquímicos en la prueba 4.	76
Tabla 10. Resultados obtenidos de la evaluación de parámetros fisicoquímicos en la prueba 5.	77
Tabla 11. Resultados obtenidos de la evaluación de parámetros fisicoquímicos en la prueba 5.	78
Tabla 12. Valores promedio obtenidos para cada parámetro a la entrada de la columna.	79
Tabla 13. Valores promedio obtenidos para cada parámetro a la salida de la columna.	80

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Análisis de suelos (textura)	94

RESUMEN

TÍTULO: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA METODOLOGÍA ANALÍTICA PARA LA EVALUACIÓN DE AGUAS DE INFILTRACIÓN EN EL ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA E.S.P. S.A. (AMB)*

AUTOR: QUINTERO CEPEDA DEIBY**

Palabras Claves: Aguas, Infiltraciones, análisis fisicoquímico, identificación.

Las infiltraciones repentinas de aguas suelen ser ocasionadas por fugas y averías en los sistemas de conducción de aguas servidas, o de las redes de distribución de agua potable; aunque en algunos casos también pueden ser ocasionadas por brotes repentinos de manantiales o escorrentías de aguas lluvias.

Con el fin de identificar la procedencia del agua que da origen a estas infiltraciones se busca desarrollar el diseño, evaluación e implementación de una metodología de análisis fisicoquímico para este tipo de muestras, utilizando el agua de la planta de tratamiento la flora para hacerla pasar a través de una columna empacada con suelos de diferentes texturas, esto con el fin de simular el comportamiento del agua al infiltrarse en la tierra, y así poder determinar cuales son los parámetros fisicoquímicos representativos para el diseño de la metodología de análisis de las aguas de infiltración, a implementar en el laboratorio de control calidad aguas del amb.

Debido a la variabilidad en el comportamiento de todos los parámetros aquí evaluados, no se logro diseñar una metodología totalmente efectiva para determinar la procedencia del agua que da origen a una infiltración. Sin embargo el hecho de conocer ahora el comportamiento fisicoquímico del agua tratada al infiltrarse por un terreno, permite hacer recomendaciones basadas en la información obtenida en el presente trabajo y de esta manera facilitar el análisis de este tipo de muestras por parte de el laboratorio del amb.

*Tesis

**Facultad de ciencias, Escuela de química, Luz Yolanda Vargas, Jairo Puentes Bruges

ABSTRACT

TITLE: DESIGN AND IMPLEMENTATION OF AN ANALYTICAL METHODOLOGY FOR THE WATER EVALUATION OF INFILTRATION IN THE ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA E.S.P. S.A.. (AMB)*

AUTOR: QUINTERO CEPEDA DEIBY**

Key words: Water, Infiltrations, physic-chemistry analysis, identification.

The sudden water infiltrations usually are caused by leakage and failures in the systems of conduction of served waters, or the networks of potable water distribution; although in some cases they can be caused by sudden buds of springs or run-offs of waters rains.

With the purpose of identifying the origin of the water that gives origin to these infiltrations it looks for to develop the design, evaluation and implementation of a methodology of physic-chemistry analysis for this type of samples, using the water of the treatment plant La Flora to make happen it through a packed column with grounds of different textures, this with the purpose of simulating the behavior of the water when infiltrating in the Earth, and thus being able to determine as they are the representative physic-chemistry parameters for the design of the methodology of analysis of infiltration waters, to implement in the control laboratory quality waters of amb.

Due to the variability in the behavior of all the parameters evaluated here, a totally effective methodology could not be designed to determine the origin of the water that gives origin to an infiltration. Nevertheless the fact to know now the physic-chemistry behavior the treated water when infiltrating by a packed column, allows to make recommendations based on the obtained data in the present work and this way facilitate the analysis of this type of samples on the part of the laboratory of amb.

*Tesis

**Facultad de ciencias, Escuela de química, Luz Yolanda Vargas, Jairo Puentes Bruges

INTRODUCCIÓN

El acueducto metropolitano de Bucaramanga, tiene una capacidad mínima instalada de abastecimiento de 3700 l/s. para una confiabilidad del 100% de suministro al sistema actual del área metropolitana de Bucaramanga. De acuerdo a los estudios de crecimiento de la población y de la demanda, la prestación del servicio estaba garantizada hasta el año 2003.

A partir del año 2003 y con un horizonte al año 2025, la proyección de la población para el área metropolitana de Bucaramanga, Piedecuesta, Floridablanca y Grón se acerca al 1.600.000 habitantes, para una demanda adicional de 3000 l/s, que serán suministrados por el proyecto de nuevos abastecimientos que comprende básicamente la utilización de las aguas provenientes del río Manco y del río Guayabales, utilizados principalmente en épocas de invierno y con embalse de compensación para épocas de vera no a construir en el páramo de Berlín.

Una de las medidas tomadas por la compañía para garantizar el abastecimiento de agua a la ciudad de Bucaramanga, es un programa de manejo inteligente del agua, acompañado de la optimización de las redes de distribución y plantas de tratamiento.

Una de las situaciones preocupantes para llevar a cabo estos planes es el volumen de pérdidas de agua en el Acueducto Metropolitano de Bucaramanga, que para el año 2003 estuvo alrededor del 32.2% del agua que sale de las plantas. Estas pérdidas se deben en su mayoría a acometidas fraudulentas y daños en las redes de distribución, los cuales son los responsables de múltiples infiltraciones de agua que difícilmente se pueden distinguir entre el nacimiento repentino de manantiales, brotes de aguas subterráneas y fugas en redes diferentes a las de agua potable, razón por la cual se hace indispensable la implementación de una

metodología de análisis fisicoquímico en el laboratorio de control calidad aguas del amb, para muestras tomadas de daños urbanos, con el fin de identificar la procedencia del agua que da origen a estas infiltraciones.

1. MARCO TEÓRICO

1.1 PÉRDIDAS DE AGUAS EN SISTEMAS DE ACUEDUCTO

Las pérdidas de agua en los sistemas de acueducto se pueden clasificar y reglamentar de la siguiente manera:

1.1.1 Pérdidas en la aducción (agua cruda)

Debe establecerse un nivel de pérdidas en la aducción antes de llegar a la planta de tratamiento. El nivel de pérdidas en la aducción debe ser inferior al 5%. ⁽¹⁾

1.1.2 Pérdidas por necesidades de la planta de tratamiento

Debe considerarse entre 3% y 5% del caudal medio diario para atender las necesidades de lavado de la planta de tratamiento. ⁽¹⁾

1.1.3 Pérdidas en la conducción (agua tratada)

Debe establecerse el nivel de pérdidas en la conducción después de la planta de tratamiento y antes del comienzo de la red de distribución. Esta cantidad debe ser un porcentaje del caudal medio diario, el cual debe ser inferior al 5%. ⁽¹⁾

1.1.4 Pérdidas técnicas en el sistema de acueducto

Las pérdidas técnicas corresponden a la diferencia entre el volumen de agua tratada y medida a la salida de la(s) planta(s) potabilizadora(s) y el volumen entregado a la población medido en las acometidas domiciliarias del municipio.

Para estimar el porcentaje de pérdidas técnicas, deben tenerse en cuenta los datos registrados disponibles en el municipio sobre pérdidas de agua en el sistema de acueducto desde la(s) planta (s) potabilizadora (s), incluida los consumos operacionales en la red.

A la luz del Artículo 6º de la Resolución 1795 de la CRA, todos los sistemas de acueducto están comprometidos a realizar esfuerzos para disminuirlas, pues el nivel máximo de agua no contabilizada que se aceptará para el cálculo de los costos de la prestación del servicio de acueducto será del 30%. De otro lado la Ley 373 de junio de 1997, por la cual se establece el programa para uso eficiente y ahorro del agua, invita a hacer esfuerzos para reducir las pérdidas de los sistemas de acueducto en el territorio nacional. ⁽¹⁾

1.1.5 Pérdidas comerciales

Las pérdidas comerciales se obtienen de la diferencia entre el volumen de agua entregado a la salida de las plantas de tratamiento y el volumen facturado por la empresa de acueducto. ⁽¹⁾

1.2 AGUA NO CONTABILIZADA Y PERDIDA EN EL ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA

Las Figuras 1 y 2 muestra los porcentajes y volúmenes de agua no contabilizada y pérdida en el Acueducto Metropolitano de Bucaramanga durante los últimos años, como se puede observar las pérdidas de agua para el amb oscilan alrededor del 32.2%, que corresponden a un volumen aproximado de 23´555.484 metros cúbicos de agua perdida durante el año 2003. ⁽²⁾

Figura 1 Porcentaje de pérdida de agua amb.



(2) amb

Estas pérdidas se clasifican como técnicas y comerciales y representan perjuicios económicos y sociales tanto para la compañía como para los usuarios, aumentando los costos de funcionamiento de la compañía y ocasionando daños físicos y estructurales en las vías y viviendas del área metropolitana como consecuencia de fugas y averías en la red de distribución.

El laboratorio de control calidad aguas del amb recibió aproximadamente 28 quejas con muestras de agua procedentes de infiltraciones en vías y viviendas durante el año 2003, y en el primer semestre del año 2004 ya se tenían reportadas 11 muestras de este tipo. Todos estos casos son llevados al laboratorio con el fin de determinar si su origen está localizado en las redes de distribución del amb. (2)

Figura 2. Volúmenes de pérdida de agua y agua no contabilizada amb.

AGUA NO CONTABILIZADA Y PERDIDAS									
Volumen Facturado		Volumen Plantas	Entrada (1)	Volumen Entrada a la Red (2)	Volumen de Perdida	Volumen de ANC	% Perdidas	% ANC	
Mes	(M ³)	Mes	(M ³)	(M ³)	(M ³)	(M ³)			
Ene 03	4.157.741	Nov-02	6.010.724	5.920.915	1.763.174	1.852.983	29,33%	30,83%	
Feb 03	4.194.436	Dic 02	6.297.755	6.205.271	2.010.835	2.103.319	31,93%	33,40%	
Mar 03	4.118.413	Ene-03	6.227.011	6.134.170	2.015.757	2.108.598	32,37%	33,86%	
Abr 03	4.030.433	Feb-03	5.756.696	5.654.667	1.624.234	1.726.263	28,21%	29,99%	
May 03	3.915.888	Mar-03	6.356.931	6.265.008	2.349.120	2.441.043	36,95%	38,40%	
Jun 03	3.979.096	Abr-03	5.917.761	5.815.428	1.836.332	1.938.665	31,03%	32,76%	
Jul 03	4.071.556	May-03	6.184.960	6.111.456	2.039.900	2.113.404	32,98%	34,17%	
Ago 03	3.958.069	Jun 03	5.939.843	5.860.389	1.902.320	1.981.774	32,03%	33,36%	
Sep 03	3.959.633	Jul-03	6.174.742	6.084.820	2.125.187	2.215.109	34,42%	35,87%	
Oct 03	4.083.039	Ago 03	6.271.367	6.172.595	2.089.556	2.188.328	33,32%	34,89%	
Nov 03	4.054.864	Sep-03	6.005.220	5.918.040	1.863.176	1.950.356	31,03%	32,48%	
Dic 03	4.094.528	Oct-03	6.132.464	6.030.421	1.935.893	2.037.936	31,57%	33,23%	
TOTAL	48.617.696		73.275.474	72.173.180	23.555.484	24.657.778	32,15%	33,65%	

(2) amb

1.3 FISICOQUÍMICA DEL AGUA

Las tres cuartas partes de la superficie de la tierra están cubiertas de agua. Aun cuando esto es un dato impresionante, la fórmula del agua H₂O en si misma únicamente indica su composición y peso molecular. No explica las propiedades extraordinarias que resultan de su arreglo molecular único. Los dos átomos de hidrogeno están separados entre si por 105° adyacentes al átomo de oxígeno, de forma que la molécula es asimétrica, cargada positivamente del lado del hidrógeno y negativamente del lado del oxígeno. Por esta razón se dice que el agua es bipolar. Esto hace que las moléculas se aglomeren. El hidrógeno de una molécula atrae al oxígeno de la molécula vecina. La unión de las moléculas como resultado de esta fuerza de atracción recibe el nombre de puentes de hidrógeno. ⁽³⁾

1.3.1 Procesos de absorción y cambio de iones en el suelo

- **Absorción**

Es el fenómeno por el cual una sustancia, atraída por fuerzas electrostáticas de Van der Waals o químicas, se “une” a la superficie de otra por un periodo mas o menos corto. Según la naturaleza de las fuerzas que intervienen en la unión, se habla de cambio iónico cuando éstas son electrostáticas; de absorción física, cuando son de Van der Waals, y de absorción química o quimisorción, cuando intervienen fuerzas químicas, especialmente uniones covalentes de diferentes tipos.

Las fuerzas de Van der Waals son de naturaleza electrostática y se deben a la bipolaridad de las moléculas. Se originan en la atracción de moléculas bipolares, o en la atracción entre moléculas cuya bipolaridad ha sido inducida por moléculas permanentemente bipolares, o por oscilaciones de cargas internas en moléculas

sin momento bipolar medible. Son fuerzas de atracción a muy corta distancia y disminuyen proporcionalmente a la 7^a potencia de la distancia.

Las fuerzas de Van der Waals son las responsables de la aglomeración de átomos o moléculas en los estados de agregación líquida o sólida.

Además de sus efectos bipolares, estas fuerzas pueden tener también carácter multipolar y son aditivas. Así, la atracción total entre dos partículas que contienen un gran número de átomos, por ejemplo dos partículas de arcilla es igual a la suma de las fuerzas atractivas de todos los átomos en ambas partículas. De esta suma resultan fuerzas que no son tan pequeñas. Se observa también que en las partículas grandes la disminución de las fuerzas con la distancia no es tan considerable como a nivel atómico. Conviene recordar que en los suelos, por ser estos sistemas muy complejos y heterogéneos, actúan al mismo tiempo diferentes fuerzas de retención. A veces algunas de estas predominan y puede determinarse cual es el proceso de retención dominante. Otras veces esta operación es muy difícil y el resultado impreciso. ⁽⁴⁾

- **Cambio de Cationes**

Es el cambio entre cationes en la solución en el suelo, y otros cationes en la superficie de materiales con actividad superficial, como coloides inorgánicos u orgánicos.

En los materiales de tamaño superior a los coloides, como la fracción de limo, la capacidad de cambio es moderada, especialmente cuando la superficie específica es alta. Este fenómeno es importante en los suelos cuyo material se caracteriza por una baja capacidad de cambio cationico, como los suelos caoliníticos.

En las publicaciones antiguas se usa la expresión “capacidad de cambio de bases”, sinónima de la capacidad de cambio catiónico.

Es importante recordar que solo las reacciones reversibles son consideradas como de cambio. ⁽⁴⁾

- **Suma de Cationes Cambiables (S)**

Es la suma, en equivalentes, de todos los cationes de cambio, sin incluir hidrógeno, aluminio o hierro. Se acostumbra expresarla en mili-equivalentes por 100g de suelo o, a veces, por gramo de arcilla. En las publicaciones europeas se abrevia con S mayúscula. ⁽⁴⁾

- **Capacidad de Cambio de Cationes (CCC)**

Es la suma de los cationes de cambio que el suelo puede retener en forma reversible. Se llama a veces “capacidad de cambio total” o “capacidad de cambio de bases”. Se expresa en mili-equivalentes por 100g de material absorbente como el suelo o, con menos frecuencia, por gramo de absorbente. ⁽⁴⁾

- **Capacidad de Cambio de Aniones (CCA)**

Es la suma de los aniones que el suelo puede retener en forma reversible. Se expresa en mili-equivalentes por 100g de material absorbente. ⁽⁴⁾

1.3.2 Turbidez

La turbidez en un agua puede ser causada por una gran variedad de materiales en suspensión, que varían en tamaño desde dispersiones coloidales hasta

partículas gruesas, entre otros, arcillas, limo, materia orgánica finamente dividida, organismos planctónicos, microorganismos, etc.

Actualmente el método más usado para determinar la turbidez es el método nefelométrico en el cual se mide la turbiedad mediante un nefelómetro y se expresan los resultados en unidades de turbidez nefelométrica, UTN. Con este método se compara la intensidad de luz dispersada por la muestra, con respecto a la intensidad de luz dispersada por una suspensión estándar de referencia, bajo las mismas condiciones de medida. Entre mayor sea la intensidad de luz dispersada, mayor será la turbiedad.

La determinación de la turbidez es de gran importancia en aguas para consumo humano, y en una gran cantidad de industrias procesadoras de alimentos y bebidas.

Los valores de la turbidez sirven para determinar el grado de tratamiento requerido por una fuente de agua cruda, su filtrabilidad y, consecuentemente, la tasa de filtración más adecuada, la efectividad de los procesos de coagulación, sedimentación y filtración, así como para determinar la potabilidad del agua. ⁽⁵⁾

1.3.3 Color

Las causas más comunes del color del agua son la presencia de hierro y manganeso coloidal o en solución; el contacto del agua con desechos orgánicos, hojas, madera, raíces, etc.. en diferentes estados de descomposición, y la presencia de taninos, ácido húmico y algunos residuos industriales. El color natural en el agua existe principalmente por efecto de partículas coloidales cargadas negativamente; debido a esto, su remoción puede lograrse con ayuda de un coagulante de una sal de ion metálico trivalente como el Al^{+++} o el Fe^{+++} .

Dos tipos de color se reconocen en el agua: el color verdadero, o sea el color de la muestra una vez que su turbidez ha sido removida, y el color aparente que incluye no solo el color de las sustancias en solución y coloidales sino también el color debido al material suspendido.

En general, el término color se refiere al color verdadero del agua y se acostumbra medirlo conjuntamente con el pH, pues la intensidad del color depende del pH. Normalmente el color aumenta con el incremento del pH. ⁽⁵⁾

1.3.4 Conductividad

La conductividad del agua es una expresión numérica de su habilidad para transportar una corriente eléctrica. La conductividad del agua, depende de la concentración total de sustancias disueltas ionizadas en el agua y de la temperatura a la cual se haga la determinación. Por lo tanto, cualquier cambio en la cantidad de sustancias disueltas, en la movilidad de los iones disueltos y en la valencia, implica un cambio en la conductividad.

La conductividad está íntimamente ligada con la suma de los cationes o aniones determinada químicamente; aproximadamente el producto de la conductividad en mmhos/cm. por 10 es igual a la suma de los cationes en mili-equivalentes por litro; en otras palabras, la conductividad en micromhos / cm. dividida por 100 es igual al total de mili-equivalentes por litro de los cationes o aniones. ⁽⁵⁾

1.3.5 Alcalinidad

La alcalinidad de un agua puede definirse como su capacidad para neutralizar ácidos, como su capacidad para reaccionar con iones hidrógeno, como su

capacidad para aceptar protones o como la medida de su contenido total de sustancias alcalinas (OH^-). La determinación de la alcalinidad total y de las distintas formas de alcalinidad es importante en los procesos de coagulación química, ablandamiento, control de corrosión y evaluación de la capacidad tamponea de un agua.

En aguas naturales la alcalinidad es debida generalmente a la presencia de tres clases de compuestos: bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos.

En algunas aguas es posible encontrar otras clases de compuestos (boratos, silicatos, fosfatos, etc.) que contribuyen a su alcalinidad; sin embargo, en la práctica la contribución de estos es insignificante y puede ignorarse. La alcalinidad del agua se determina por titulación con ácido sulfúrico 0.02N y se expresa en mg / L de carbonato de calcio equivalente a la alcalinidad determinada. Los iones H^+ procedentes de la solución 0.02N de H_2SO_4 neutralizan los iones OH^- libres y los disociados por concepto de la hidrólisis de carbonatos y bicarbonatos. ⁽⁵⁾

1.3.6 Dureza

Como aguas duras se consideran aquellas que requieren gran cantidad de jabón para producir espuma y producen incrustaciones en tuberías de agua caliente, calderas, calentadores y otras unidades en las cuales se incrementa la temperatura del agua.

En términos de dureza las aguas pueden clasificarse así:

0 – 75 mg / L Blanda

75 – 150 mg / L Moderadamente dura

150 – 300 mg / L Dura

> 300 mg / L Muy dura.⁺⁺

La dureza se expresa en mg/L como CaCO₃.

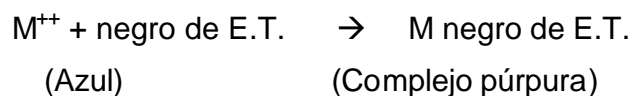
En la práctica, se considera que la dureza es causada por iones metálicos divalentes capaces de reaccionar con el jabón para formar precipitados y con ciertos aniones presentes en el agua para formar incrustaciones.

El método del EDTA para la determinación de la dureza, supone el uso de soluciones del ácido etileno diaminotetracético o de sus sales de sodio como agente titulador. Dichas soluciones forman “iones complejos solubles” con el calcio, magnesio y otros iones causantes de dureza.

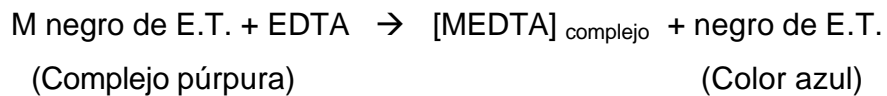
La reacción puede presentarse así:



El colorante cromo negro T, o eriocromo negro T, sirve para indicar cuando todos los iones calcio y magnesio han formado complejo con EDTA. Cuando se añade una pequeña cantidad de negro eriocromo T color azul, a un agua dura con pH 10.0 ±0.1, el indicador se combina con algunos iones Ca⁺⁺ y Mg⁺⁺ para formar un ion complejo débil de color púrpura. Es decir:



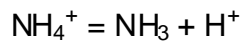
Durante la titulación con EDTA todos los iones Ca⁺⁺ y Mg⁺⁺ (M⁺⁺) libres forman complejos; finalmente el EDTA descompone el complejo débil vino tinto para formar un complejo mas estable con los iones que causan dureza. Esta acción libera el indicador negro eriocromo T y la solución pasa de color púrpura a color azul lo cual indica el punto final de titulación. La reacción puede representarse así:



(5)

1.3.7 Nitrógeno amoniacal

Se considera como nitrógeno amoniacal todo el nitrógeno que existe como ion amonio en el equilibrio:



Nesslerización directa: en muestras que han sido clasificadas adecuadamente por pretratamiento con sulfato de zinc e hidróxido de sodio para precipitar el calcio, magnesio, hierro, y sulfuro, los cuales pueden producir turbiedad con el reactivo de Nessler, es posible obtener una medida de la cantidad de nitrógeno amoniacal mediante el reactivo de Nessler, K_2HgI_4 , el cual es una solución alcalina fuerte de yoduro mercúrico de potasio.

El reactivo de Nessler se combina con el NH_3 , en solución alcalina, para formar una dispersión coloidal, amarillo carmelitosa, cuya intensidad de color es directamente proporcional a la cantidad de NH_3 originalmente presente. (5)

1.3.8 Nitrógeno de nitritos

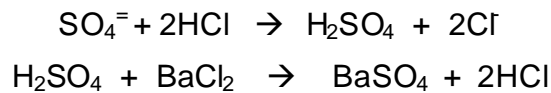
Este tipo de nitrógeno raras veces aparece en concentraciones mayores de 1mg /l, aun en efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales. En aguas superficiales y subterráneas su concentración es generalmente 0.1 mg /l. su presencia es generalmente indicativa de procesos activos biológicos en el agua ya que es fácil y rápidamente convertido en nitrato. (5)

1.3.9 Sulfatos

El ion sulfato es uno de los aniones mas comunes en las aguas naturales; se encuentra en concentraciones que varían desde unos pocos hasta varios miles de mg / l. como los sulfatos tienen un efecto laxante, especialmente en niños, se recomienda un limite superior en aguas potables de 250 mg / l de sulfatos.

El método turbidimétrico, el cual puede aplicarse a concentraciones hasta de 60 mg / l, es por su rapidez un método muy usado para determinar sulfatos. El método se basa en el hecho de que el ion sulfato tiende a precipitarse como sulfato de bario, en medio acido (HCl), con el cloruro de bario formado, se mide con un nefelómetro o espectrofotómetro y la concentración del ion sulfato se efectúa por comparación de la lectura con una curva de calibración.

Las reacciones pueden representarse así:



(5)

1.3.10 Cloruros

El ion cloruro es una de las especies de cloro de importancia en aguas, antes de descubrir los ensayos bacteriológicos se usaron los ensayos de cloruros para detectar contaminación por aguas residuales y por residuos industriales; hoy, continúan usándose para seguir la ruta de polución en pozos. A veces se le utiliza para efectuar aforos en fuentes superficiales mediante la descarga de concentraciones adecuadas que permitan determinar los tiempos transcurridos

2 METODOLOGIA

Para dar respuesta a los objetivos del presente proyecto, se hace necesario buscar una forma de obtener muestras de agua, que hayan pasado a través de mantos de suelo.

Para tal fin se elaboró una columna en tubería de PVC, en la cual se realizaron pruebas con muestras de terreno recolectadas en diferentes zonas de la ciudad de Bucaramanga.

Se evaluó la variación de diferentes parámetros fisicoquímicos en el agua, a la entrada y salida de la columna, utilizando una muestra de terreno a la vez; Todo esto con el fin de observar los cambios fisicoquímicos que presenta el agua tratada al recorrer continuamente un manto de suelo, y así poder establecer si dentro de el grupo de variables fisicoquímicas evaluadas hay una o algunas que presenten un comportamiento característico, el cual, las haga representativas en la evaluación de aguas de infiltración. Permitiendo así realizar el diseño de una metodología de análisis para este tipo de muestras.

Los resultados obtenidos en la evaluación de las muestras de agua se sometieron a un análisis de tendencia con el fin de determinar cuales son los parámetros más representativos para la evaluación de este tipo de muestras y de esta forma seleccionar los parámetros que conformarán la metodología de análisis a implementar en el laboratorio del amb.

2.1 RECOLECCIÓN DE LAS MUESTRAS DE SUELO

Para la toma de las muestras de suelo se escogieron aleatoriamente diferentes puntos de la ciudad de Bucaramanga; los cuales corresponden a los sectores de Cañaveral, ICBF Norte, Barrio La Joya, Cenfer, Plaza Guarín.

Las muestras fueron tomadas, realizando un descapote de 10cm de profundidad, para eliminar la capa vegetal del terreno, y una excavación mínima de 10cm con el fin de reducir las posibilidades de recolectar muestras excesivamente contaminadas, luego se procedió a tomar cada muestra y a almacenarla en bolsas previamente rotuladas con el nombre de cada sector de muestreo. Cabe anotar que para la selección de los sectores de muestreo solo se tuvo en cuenta que estos fuesen parte del área de cobertura del amb, pero para la elección del lugar específico de toma de la muestra se realizó una inspección ocular del lugar para evitar tomar muestras con escombros (terrenos de relleno) o basura en descomposición.

Las muestras recogidas fueron llevadas al laboratorio del amb, donde se almacenaron y utilizaron para armar las columnas empacadas. En cada una de las muestras se realizó un cuarteo y se llevó al laboratorio de suelos de la UIS para determinarles textura y clasificarlas.

2.2 ANÁLISIS Y CLASIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS DE SUELO

Para clasificar las muestras se realizaron análisis de textura utilizando el método del hidrómetro Bouyoucos 1927, mediante el cual se obtuvieron los porcentajes de limo, arena y arcilla que contenía cada muestra, que al ser ubicados en el diagrama de fases revelaron la respectiva clasificación por textura que se muestra para cada terreno en el Anexo A.

Este análisis se efectuó con el fin de saber que tipos de terrenos se estaban utilizando para armar las columnas de experimentación; y se descartó la

realización de análisis químico, debido a que el interés directo del amb es analizar muestras de agua provenientes de infiltraciones, más no los terrenos donde estas se presentan.

2.3 ELABORACIÓN DE LA COLUMNA DE EXPERIMENTACIÓN

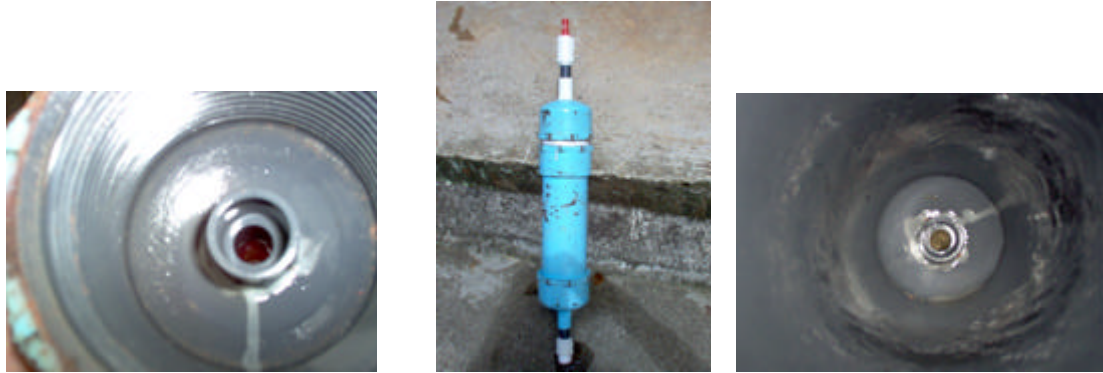
Para la construcción de la columna se empleó tubería y accesorios de PVC, pues este es un material de fácil acceso y que no interfiere químicamente en las pruebas.

Se elaboró una columna con una longitud de 35cm y un diámetro de 3 pulgadas, la cual tiene una capacidad interior de 1596 cm³ y está cerrada en sus extremos por tapones roscados de PVC (Figura 3.).

Para ubicar la entrada y salida de agua de la columna se perforaron los tapones y se instalaron acoples de ½ pulgada acondicionados para realizar las conexiones a través de mangueras.

Al realizar algunas pruebas iniciales con las muestras de terreno se observó que al empacar la columna, ésta quedaba compacta e impedía el paso del agua, razón por la cual se realizó la conexión directamente a una llave. Estas pruebas mostraron que el agua que atravesaba la columna arrastraba toda la muestra de terreno, desocupándola por completo en poco tiempo; se resolvió buscar la forma de dotar la salida de la columna con un filtro para sólidos.

Figura 3. Modelo de la columna de experimentación.



Para diseñar el filtro de sólidos se procedió a filtrar agua tratada utilizando diferentes materiales, encontrando que el adecuado para elaborar el filtro era el algodón, pues luego de estar empapado no introdujo cambios en los valores de los parámetros fisicoquímicos que se evalúan habitualmente al agua tratada en el amb. Además para evitar que el algodón se introduzca directamente en las salidas de $\frac{1}{2}$ pulgada y provoque taponamientos, se utilizaron trozos de manguera como soporte del algodón dentro de la columna.

Luego de dotar la columna con el filtro de sólidos, se realizaron nuevas pruebas con las muestras de terreno, logrando así tener un flujo estable a la entrada y salida de la columna manteniendo retenido el terreno dentro de la misma. Con la columna acondicionada, se inició el montaje de cada una de las muestras de terreno, para proceder a la recolección de datos.

2.4 MONTAJE N°1

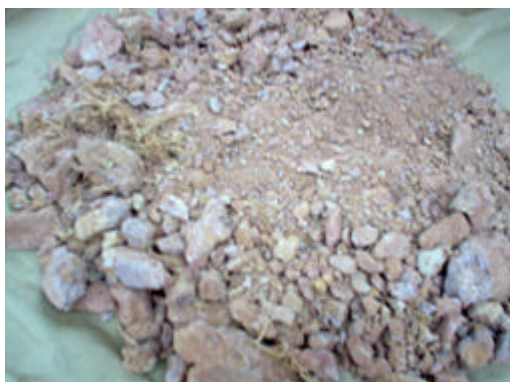
Figura 4. Montaje con conexiones directas a la presión de la tubería.



Con el propósito de obtener un llenado uniforme de la columna y una mayor área de contacto entre el agua y la muestra, se trituró el terreno hasta obtener una contextura pareja, a continuación se colocó el filtro de sólidos en el fondo de la columna y se procedió a llenarla con la muestra, seguidamente se instaló el tapón de la entrada y se conectó el montaje como se muestra en la figura 4.

Para este montaje se utilizó la muestra de terreno proveniente del sector de cañaveral, la cual corresponde a un terreno del tipo Franco-arcilloso (Figura 5).

Figura 5. Terreno del tipo Franco-arcilloso.



Con el montaje armado se inicio la evaluación de los parámetros fisicoquímicos al agua de entrada y salida de la columna, dejando transcurrir lapsos de tiempo diferentes entre la toma de una muestra y otra y asegurando que la columna mantuviese inundada.

Al presentarse dificultades por taponamientos de la columna, se realizaron retro-lavados y cambios de posición a la misma, sin lograr una solución por el contrario se provocaron continuos derrames de tierra, los cuales ocasionaron que el volumen de terreno dentro de la columna disminuyera a la mitad, por lo que fue necesario reiniciar las pruebas con este terreno armando un segundo montaje.

2.5 MONTAJE N°2

Debido a que en el montaje N°1 se presentaron taponamientos, se decidió no triturar la muestra y pasarla a través de un tamiz N°12 , para que así se generaran mas espacios libres dentro de la columna para el paso del agua y a la vez se produjera menor arrastre de material.

Con los cambios anteriormente mencionados se procedió a realizar el segundo montaje y se reanudó la toma de muestras de agua y la evaluación de parámetros fisicoquímicos, lográndose un buen funcionamiento del montaje, con un aumento inicial del flujo de agua a la salida de la columna, y un descenso paulatino de su valor al transcurrir el lavado. Además a medida que transcurría el lavado se aumentó el volumen de agua que se dejaba fluir por la columna entre la toma de una muestra y otra.

Se recolectaron muestras hasta el punto en que no se observaron diferencias considerables entre los valores de los parámetros evaluados a una muestra de agua a la salida de la columna y su antecesora. En este punto se consideró que el lavado entre el terreno y el agua ya habían culminado; este mismo criterio se

aplicó para detener la toma de muestras en los montajes que se realizaron con los demás terrenos.

2.6 MONTAJE N°3

En vista de que el montaje número dos funcionó de manera satisfactoria, se tomó la muestra de terreno proveniente del sector del ICBF Norte (Figura 6) y se ensambló el montaje N°3 utilizando las mismas condiciones y criterios que para el montaje N°2.

Figura 6. Terreno Franco-Arcillo-arenoso.



Debido a que esta muestra de terreno tenía una textura más fina que la primera, se presentaron algunos taponamientos repentinos de la columna después de transcurrido un tiempo considerable de lavado, los cuales se pudieron solucionar con la inversión momentánea de el sentido de flujo del agua; permitiendo así culminar satisfactoriamente la toma y evaluación fisicoquímica de las muestras de agua.

Es importante anotar que para este montaje se aumentaron considerablemente los volúmenes de agua que atravesaban la columna, con el fin de acelerar los procesos de absorción y lavado, disminuyendo el número de muestras a tomar y la cantidad de análisis a realizar.

2.7 MONTAJE N°4

Figura 7. Terreno Franco-Arenoso.



Al realizar este montaje utilizando la muestra de terreno proveniente del sector de Cenfer, (Figura 7) en la mismas condicione y bajo los mismos criterios en que se realizó el montaje N°2, se obtuvo un flujo de salida excesivamente turbio y muy próximo en magnitud al flujo de entrada a la columna, por lo cual se decidió rearmar el montaje con la muestra de terreno tal como fue recogida.

Aun así no se logró obtener muestras bajas en turbiedad, por el contrario las muestras de salida se mantenían como una suspensión de sólidos en el agua, a pesar de que se disminuyó el flujo de entrada a la columna y se colocó una capa de algodón más gruesa como filtro de sólidos. En vista de lo anterior se decidió seguir tomando las muestras y someterlas a un filtrado antes de realizar la evaluación fisicoquímica de cada una de ellas.

En la toma de muestras se observó una rápida disminución del flujo de salida y de la cantidad de terreno que permanecía en la columna, a medida que transcurría el lavado, hasta el punto en que se produjo un taponamiento total, el cual no se pudo solucionar ni siquiera haciendo una inversión del flujo de agua, razón por la cual se decidió parar la toma de muestras desarmando el montaje y destapando la columna, encontrando la sorpresa de que esta se encontraba casi vacía debido a que el agua había disuelto y arrastrado todo el terreno.

2.8 MONTAJE N°5

Para realizar este montaje se modificó el abastecimiento de agua a la columna utilizando un depósito con capacidad de 25 litros, evitando así la presión proveniente del suministro directo de la llave (Figura 8).

Se consideró que este cambio no afectaría los resultados del experimento ya que por la experiencia ganada con los montajes anteriores se pudo comprobar que la forma y rapidez con que atraviesa el agua el manto de terreno, no influye directamente en la magnitud de los cambios químicos que tienen lugar dentro de la columna.

Figura 8. Montaje con abastecimiento de agua modificado.



Esta modificación se hizo con el objetivo de disminuir el arrastre de terreno dentro de la columna y así poder evitar los taponamientos repentinos de la misma.

La muestra de terreno proveniente del sector del barrio La Joya (Figura 9) que se utilizó para realizar el ensamblaje de este montaje, fue dispuesta dentro de la columna tal y como se recogió del sitio de muestreo par facilitar el flujo de agua , ya que en este caso no habría presión que forzara el paso del agua a través del terreno.

Figura 9. Terreno Areno-Fcoso.



El funcionamiento de la columna en estas condiciones fue satisfactorio ya que permitió hacer la recolección y evaluación fisicoquímica de las muestras sin dificultades.

2.9 MONTAJE N°6

Figura 10. Terreno Franco-Arcillo-Arenoso.



Utilizando las mismas condiciones que para el montaje N°5 se armó la columna utilizando el terreno recogido del sector de la Plaza Guarín (Figura 10) y se

procedió a hacer la toma y evaluación fisicoquímica de las muestras de agua sin presentarse ningún tipo de contratiempo en el funcionamiento de la columna.

2.10 EVALUACIÓN DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS

Los parámetros fisicoquímicos que se evaluaron a las muestras de agua obtenidas a la entrada y salida de la columna fueron los siguientes:

Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos evaluados a las muestras de agua.

PARAMETRO	UNIDADES	METODO
Alcalinidad	mg CaCO ₃ /L	Titulométrico (indicadores)
Aluminio	mg Al /L	Eriocromo Cianina R
N-amoniacal	mg N-NH ₃ /L	Nessler
Cloro residual	mg Cl ₂ /L	DPD Colorimétrico
Cloruros	mg Cl ⁻ /L	Nitrato Mercúrico
Color verdadero	U.P.C	Espectrofotométrico
Conductividad	μ mhos/cm	Conductimétrico
Dureza total	mg CaCO ₃ /L	Titulométrico (EDTA)
Nitritos	mg NO ₂ ⁻ /L	Colorimétrico
Ortofosfatos	mg PO ₄ ⁻³ /L	Ácido Ascórbico
pH	unidades	Electrométrico
Sulfatos	Mg SO ₄ ⁻²	Turbidimétrico
turbiedad	UNT	Nefelométrico

Para la evaluación de los parámetros expuestos en la tabla anterior se procedió utilizando las técnicas referenciadas en el Standard Methods edición 19. ⁽⁶⁾

3. RESULTADOS

3.1 FIGURAS DEL COMPORTAMIENTO POR PARAMETRO EN CADA PRUEBA.

3.1.1 Prueba # 1.

Para el montaje de esta prueba se utilizo un terreno del tipo franco-arcilloso.

Figura 11. Comportamiento de la dureza en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 2.

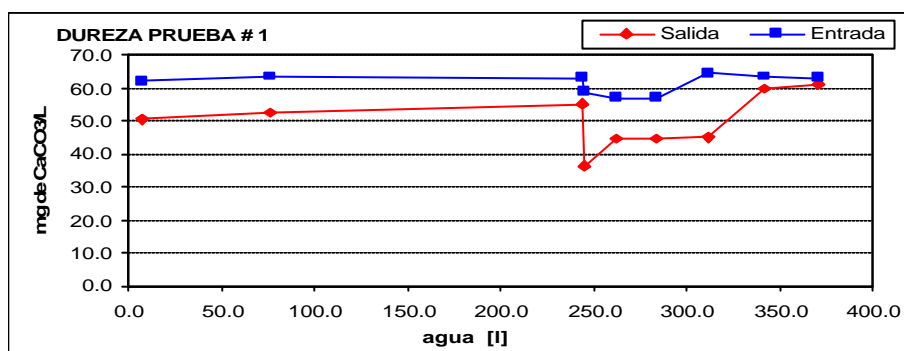


Figura 12. Comportamiento de la conductividad en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 2.

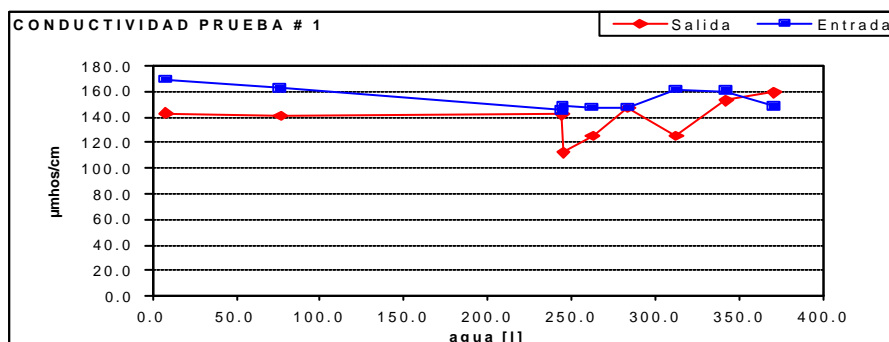


Figura 13. Comportamiento de la turbiedad en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 2.

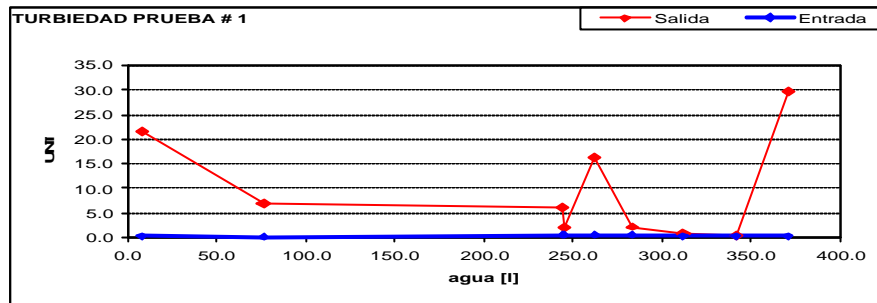


Figura 14. Comportamiento del cloro residual en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 2.

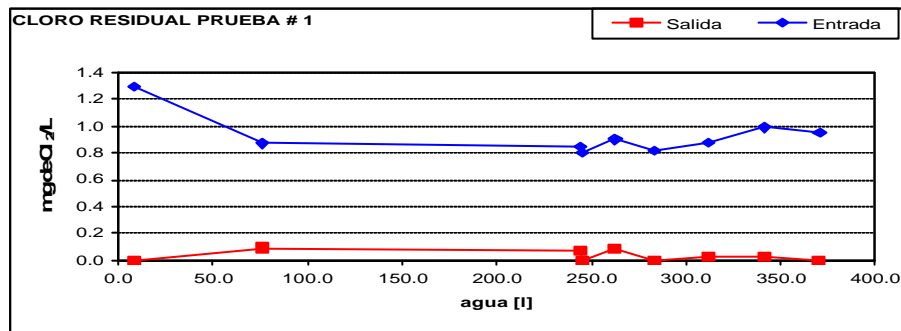


Figura 15. Comportamiento del color verdadero en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 2.

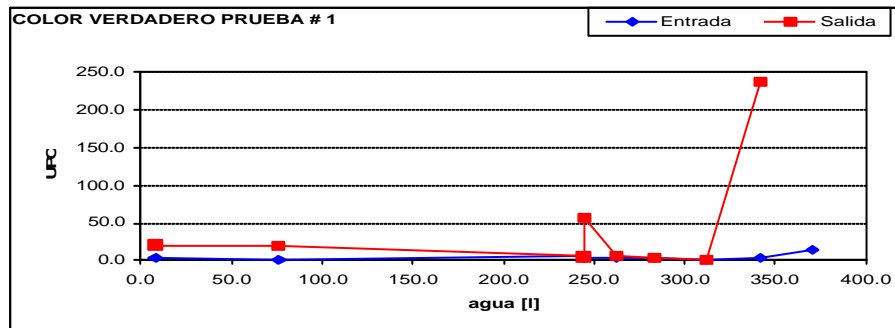


Figura 16. Comportamiento del pH en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 2.

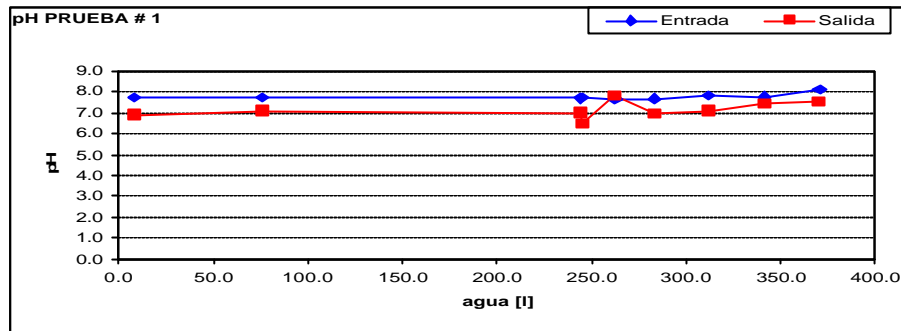


Figura 17. Comportamiento del contenido de sulfatos en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 2.

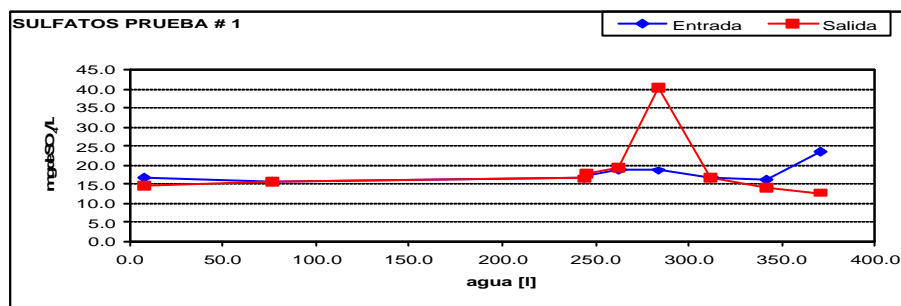


Figura 18. Comportamiento del contenido de cloruros en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 2.

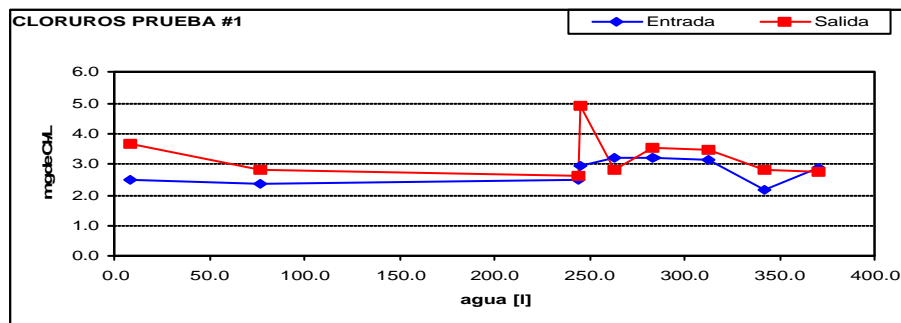


Figura 19. Comportamiento de la alcalinidad en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 2.

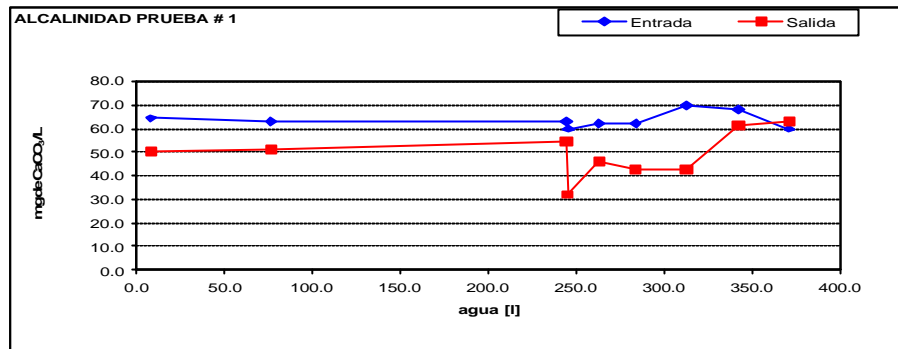
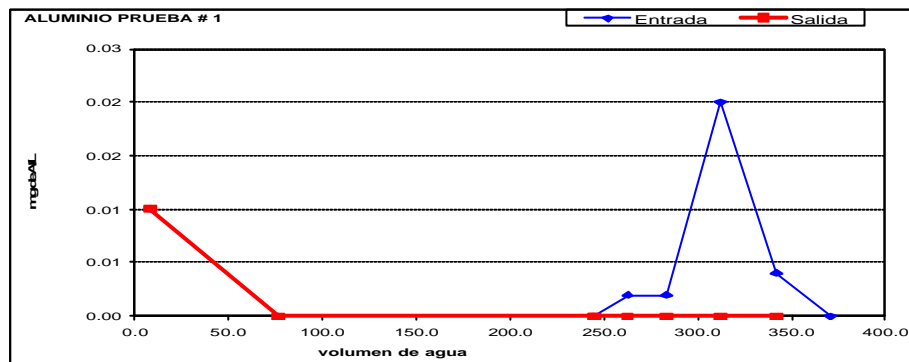


Figura 20. Comportamiento del contenido de aluminio en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 2.



3.1.2 Prueba # 2.

Para el montaje de esta prueba se utilizo un terreno del tipo franco-arcillo-arenoso.

Figura 21. Comportamiento de la dureza en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 3.

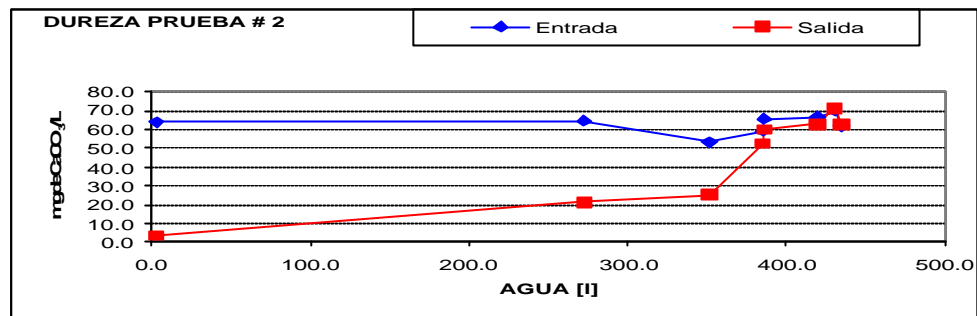


Figura 22. Comportamiento de la conductividad en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 3.

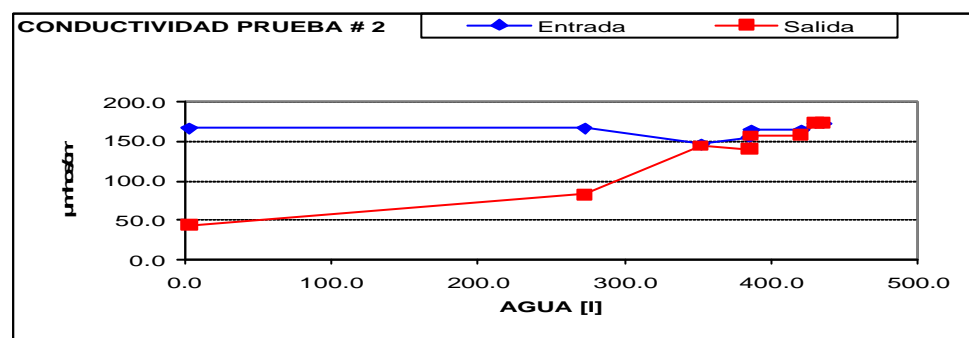


Figura 23. Comportamiento del contenido de cloro residual en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 3.

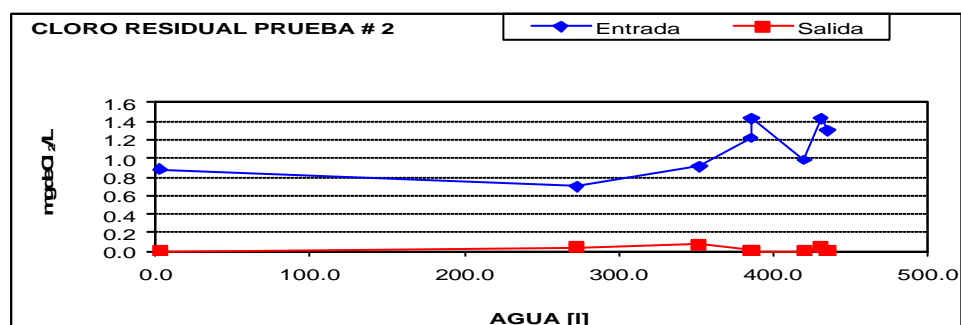


Figura 24. Comportamiento del pH en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 3.

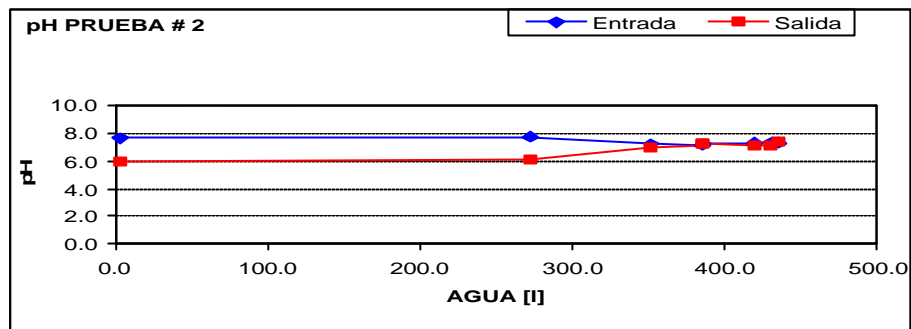


Figura 25. Comportamiento del contenido de N-amoniaco en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 3.

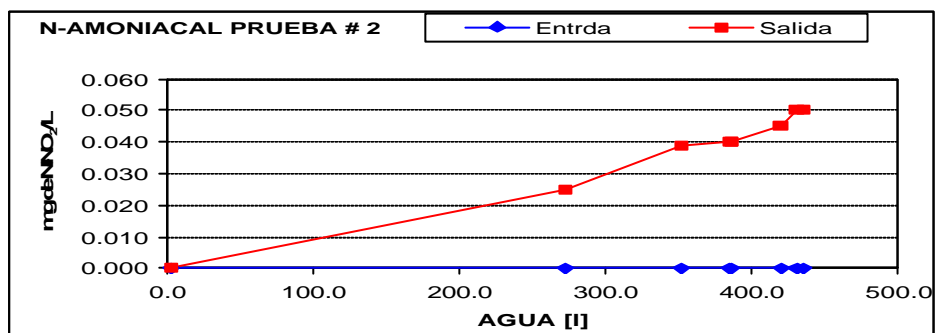


Figura 26. Comportamiento del contenido de ortofosfatos en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 3.

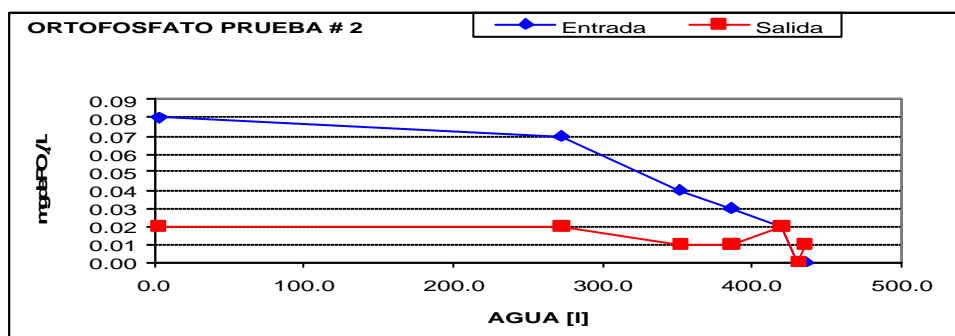


Figura 27. Comportamiento del contenido de sulfatos en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 3.

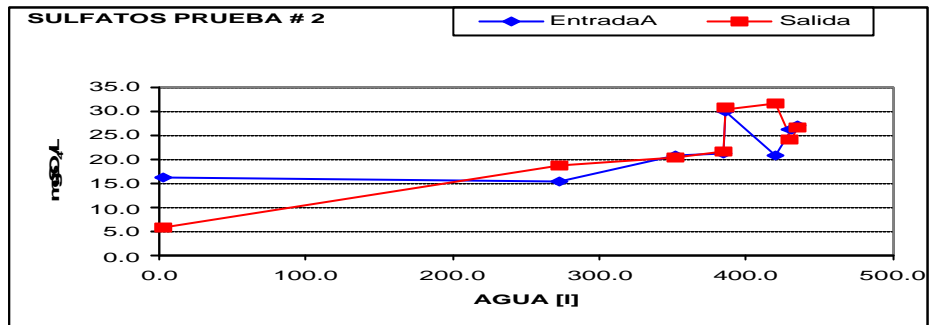


Figura 28. Comportamiento del contenido de cloruros en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 3.

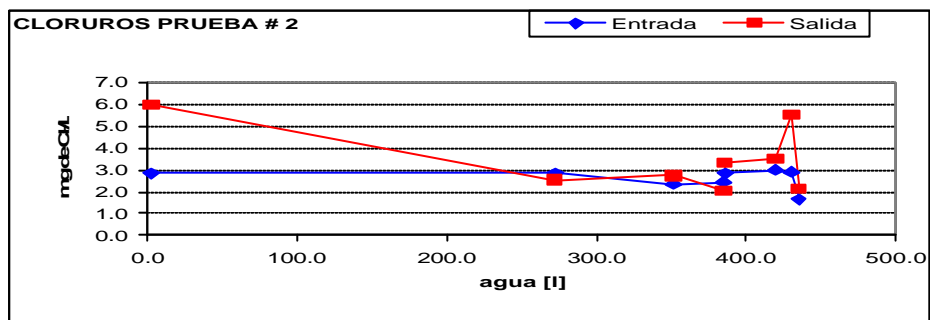


Figura 29. Comportamiento de la alcalinidad en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 3.

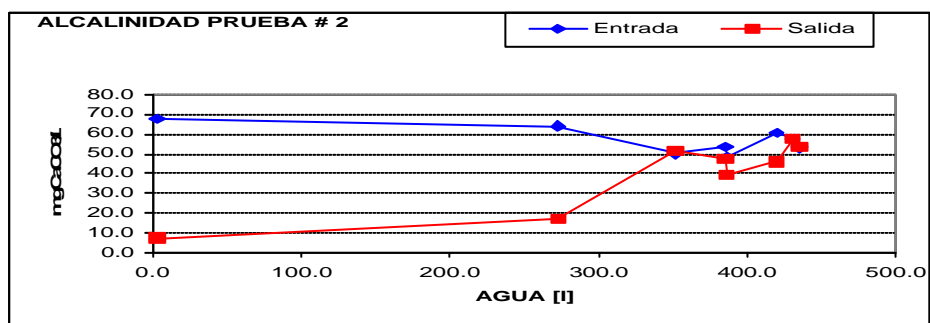


Figura 30. Comportamiento del contenido de nitritos en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 3.

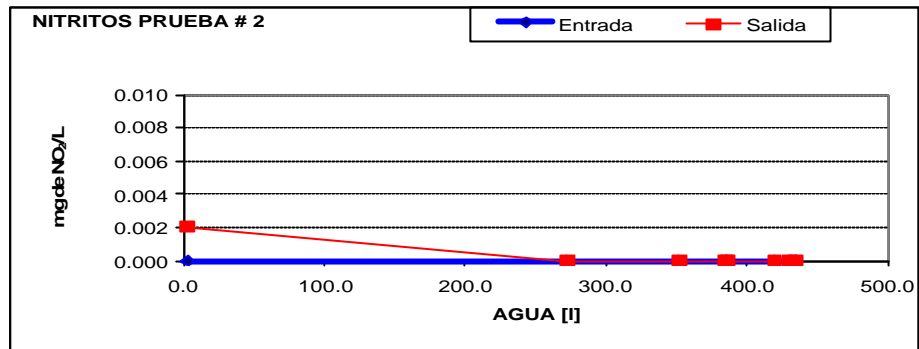
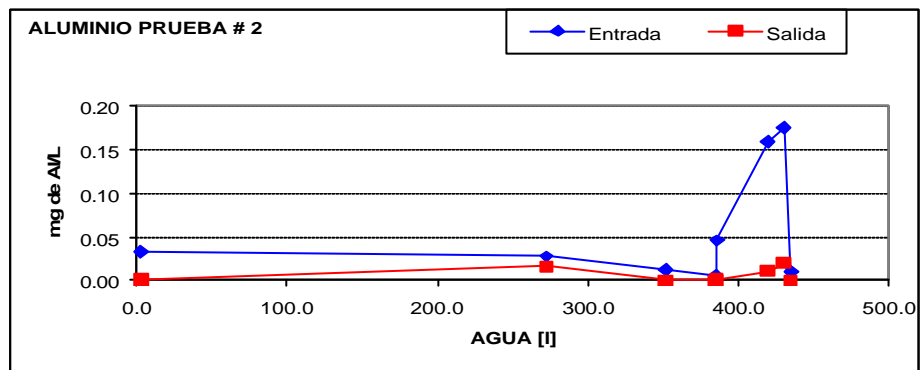


Figura 31. Comportamiento del contenido de aluminio en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 3.



3.1.3 Prueba # 3.

Para el montaje de esta prueba se utilizo un terreno del tipo terreno Franco-Arenoso.

Figura 32. Comportamiento del pH en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 4.

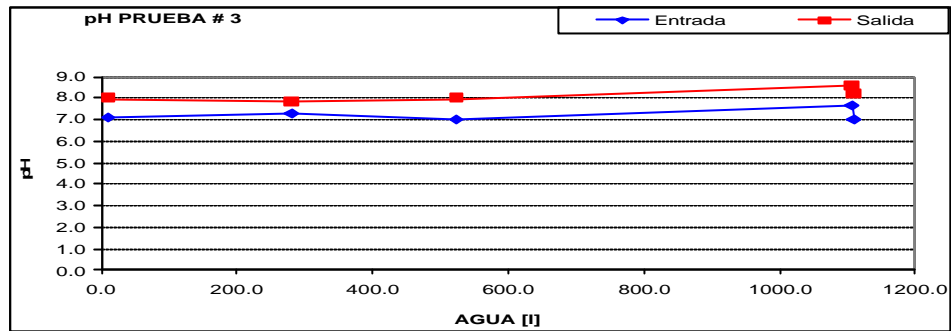


Figura 33. Comportamiento del contenido de cloro residual en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 4.

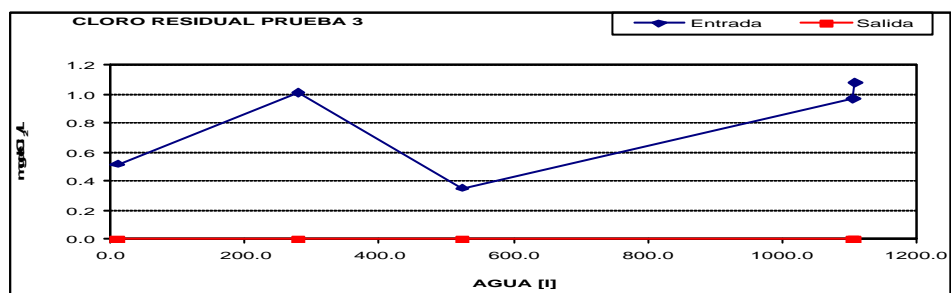


Figura 34. Comportamiento de la conductividad en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 4.

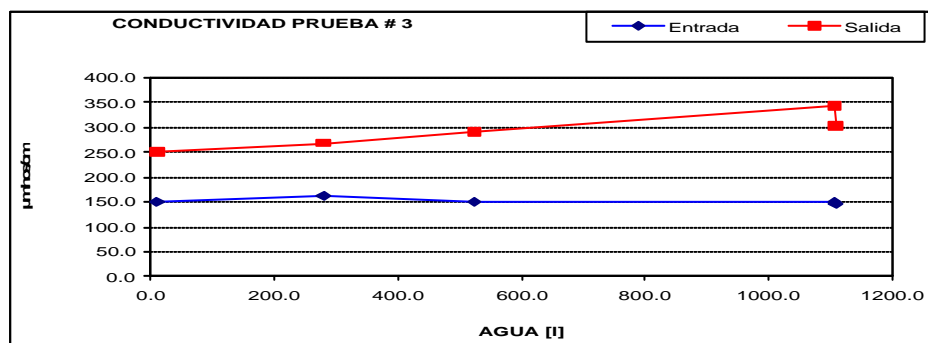


Figura 35. Comportamiento de la dureza en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 4.

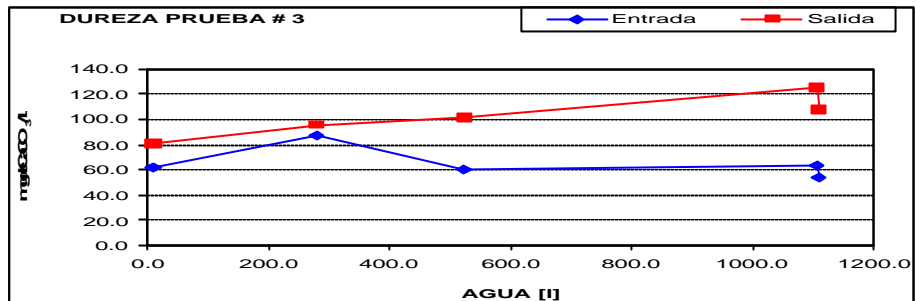


Figura 36. Comportamiento del contenido de sulfatos en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 4.

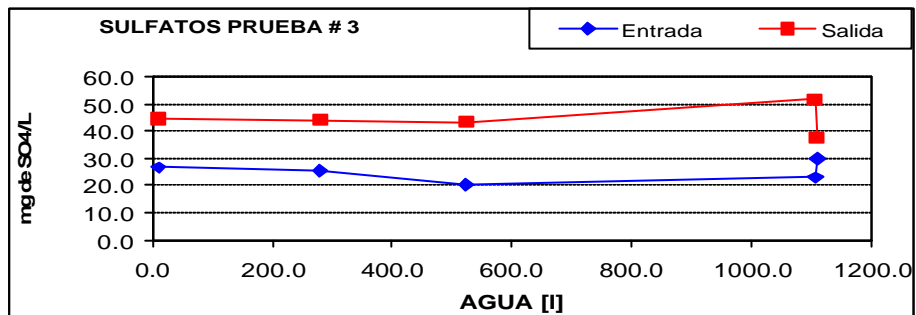


Figura 37. Comportamiento del contenido de cloruros en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 4.

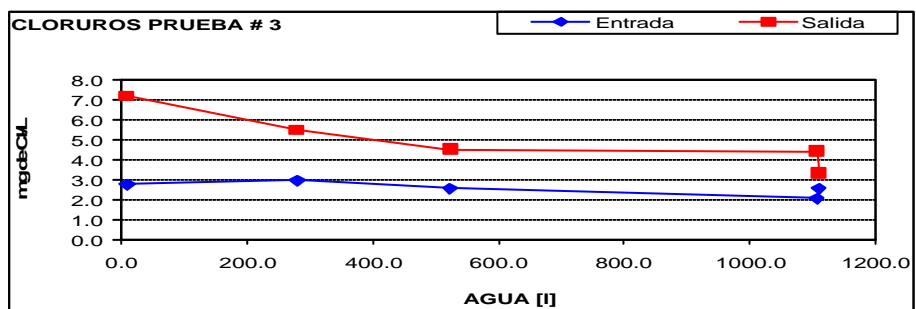


Figura 38. Comportamiento de la alcalinidad en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 4.

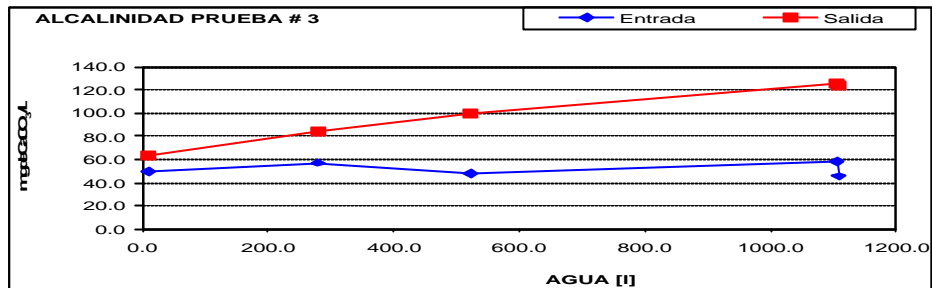


Figura 39. Comportamiento del contenido de nitritos en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 4.

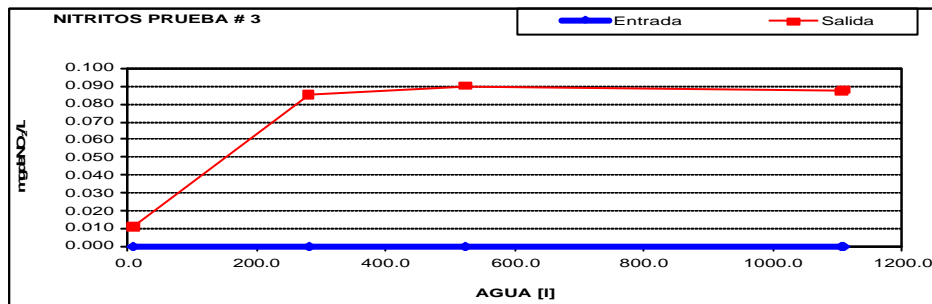
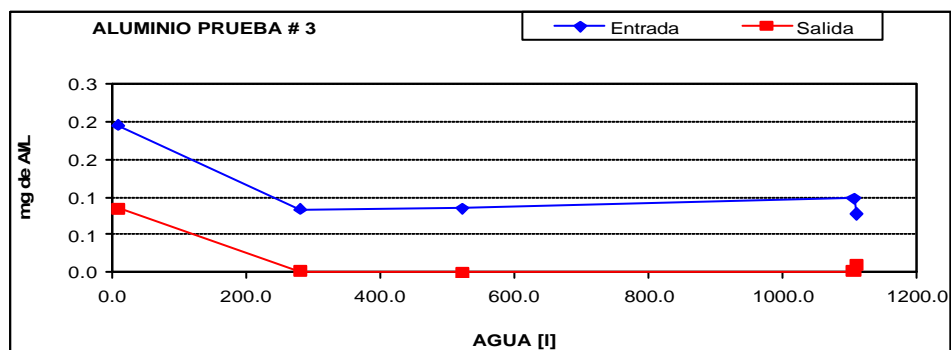


Figura 40. Comportamiento del contenido de aluminio en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 4.



3.1.4 Prueba # 4.

Para el montaje de esta prueba se utilizo un terreno del tipo terreno Areno-Fcoso.

Figura 41. Comportamiento del pH en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 5.

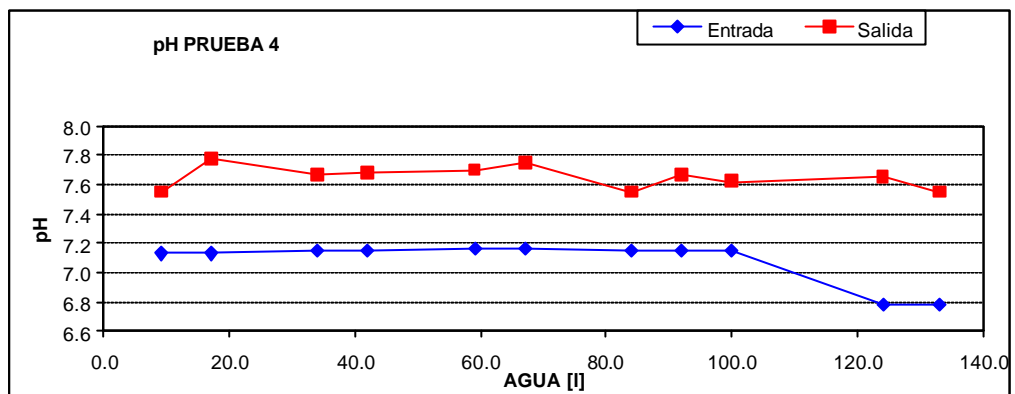


Figura 42. Comportamiento del contenido de N-amoniaco en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 5.

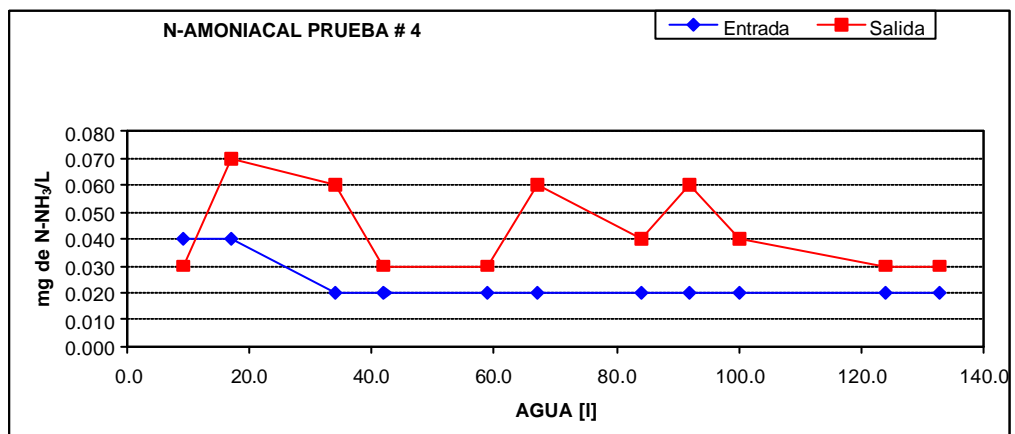


Figura 43. Comportamiento del contenido de cloro residual en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 5.

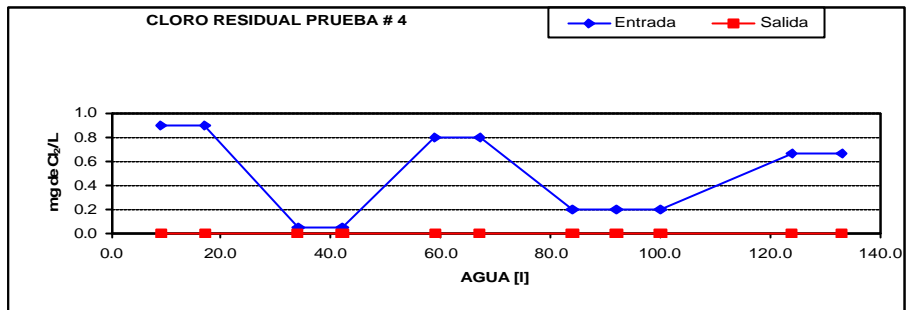


Figura 44. Comportamiento del contenido de ortofosfatos en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 5.

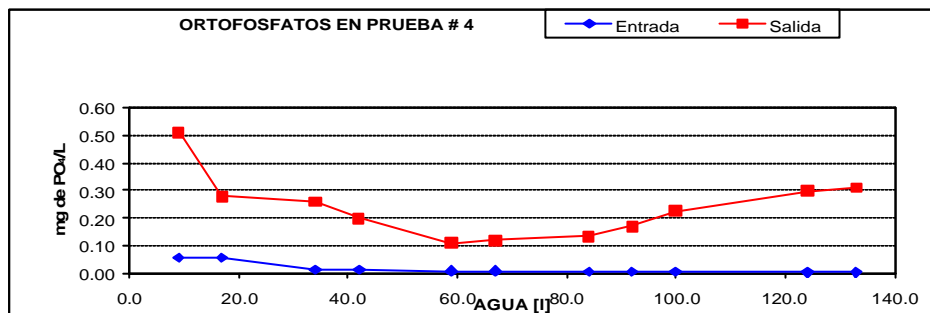


Figura 45. Comportamiento de la conductividad en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 5.

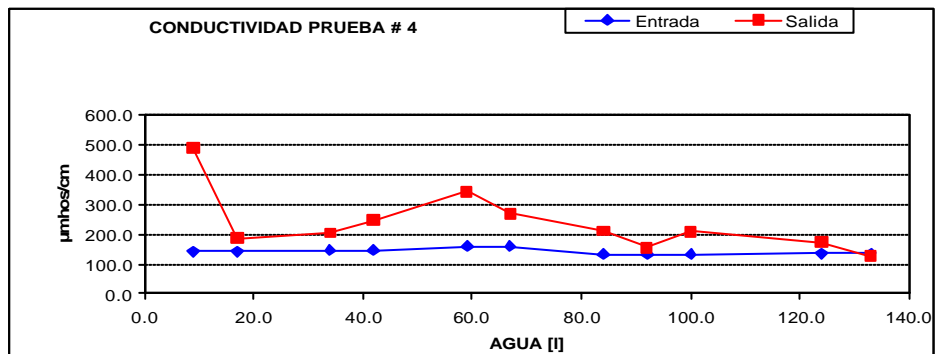


Figura 46. Comportamiento de la dureza en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 5.

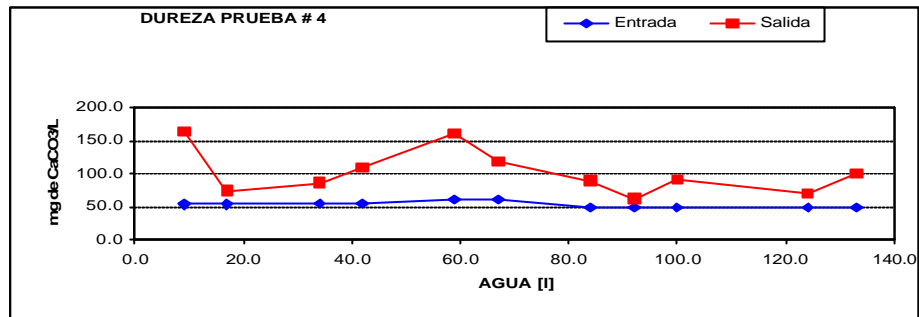


Figura 47. Comportamiento del contenido de sulfatos en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 5.

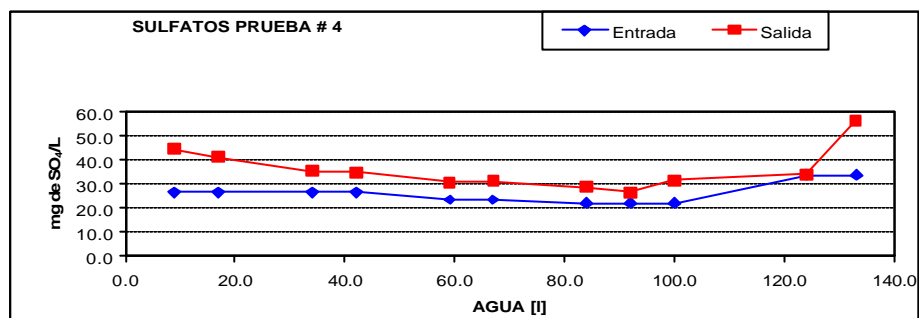


Figura 48. Comportamiento del contenido de cloruros en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 5.

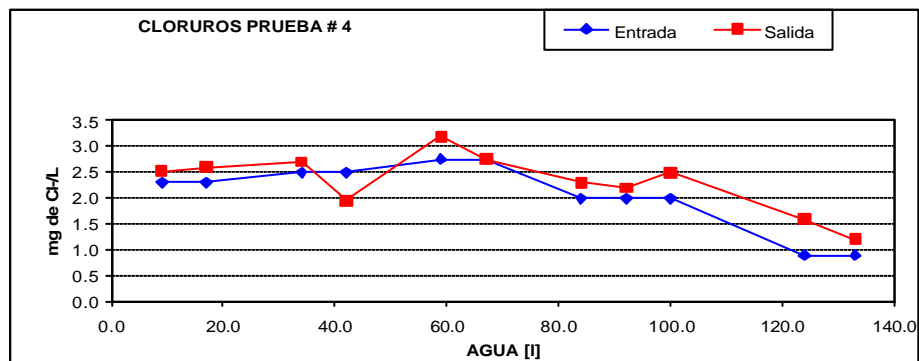


Figura 49. Comportamiento de la alcalinidad en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 5.

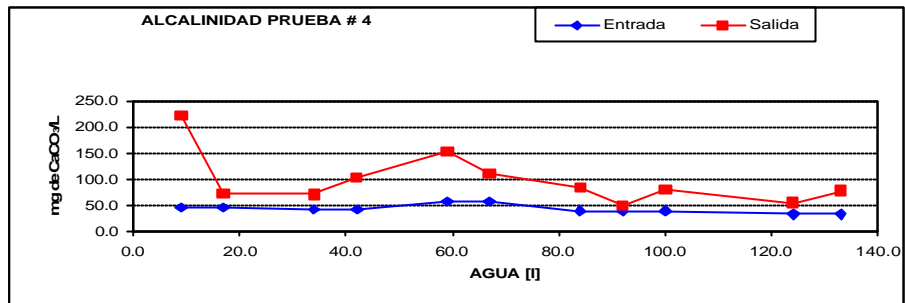


Figura 50. Comportamiento del contenido de nitritos en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 5.

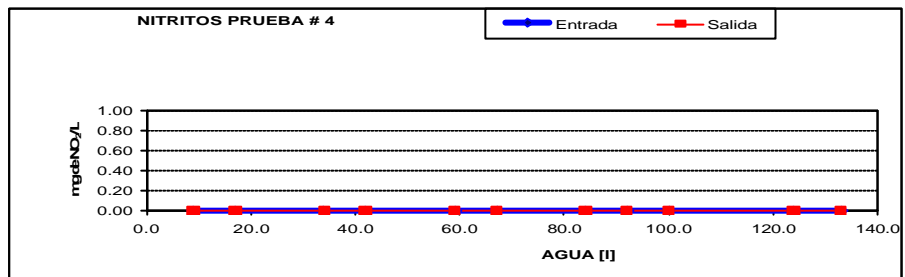
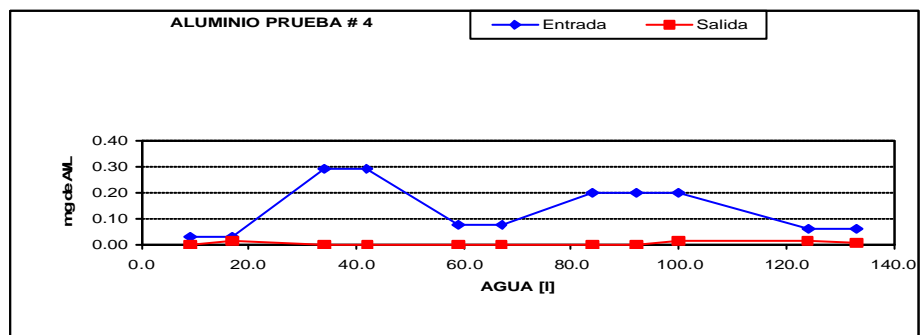


Figura 51. Comportamiento del contenido de aluminio en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 5.



3.1.5 Prueba # 5.

Para el montaje de esta prueba se utilizo un terreno del tipo terreno Franco-Arcillo-Arenoso.

Figura 52. Comportamiento del pH en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 6.

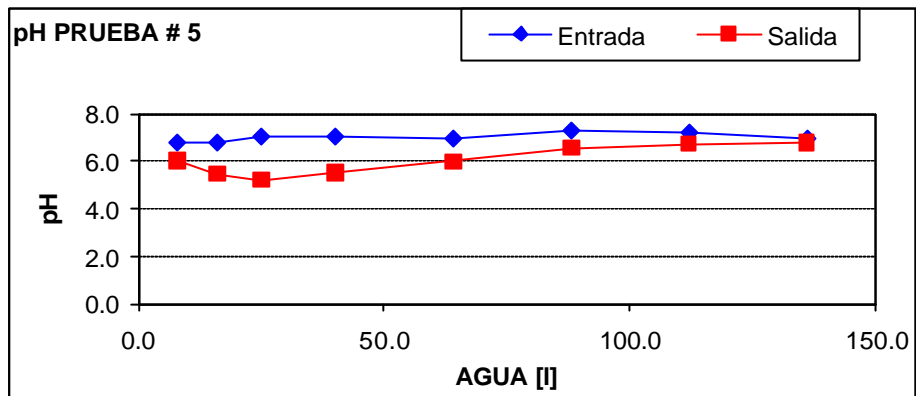


Figura 53. Comportamiento del contenido de N-amoniaco en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 6.

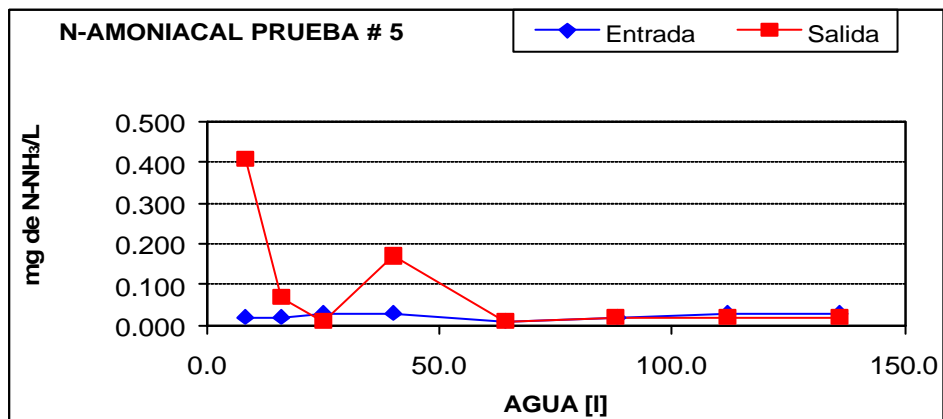


Figura 54. Comportamiento del contenido de cloro residual en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 6.

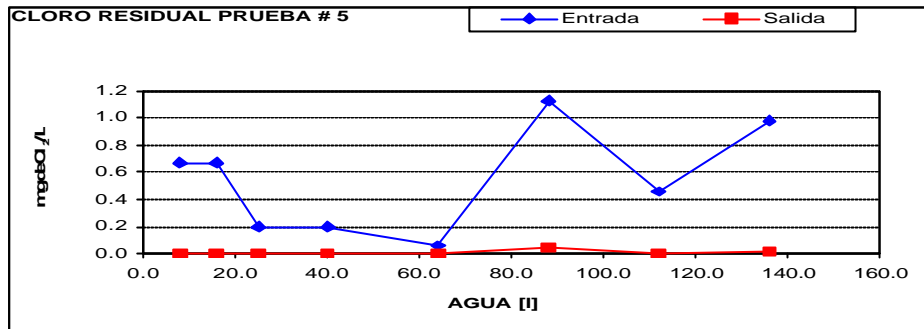


Figura 55. Comportamiento del contenido de ortofosfatos en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 6.

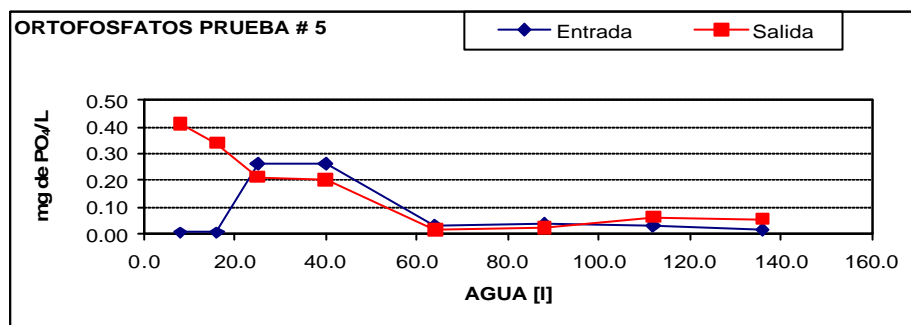


Figura 56. Comportamiento de la conductividad en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 6.

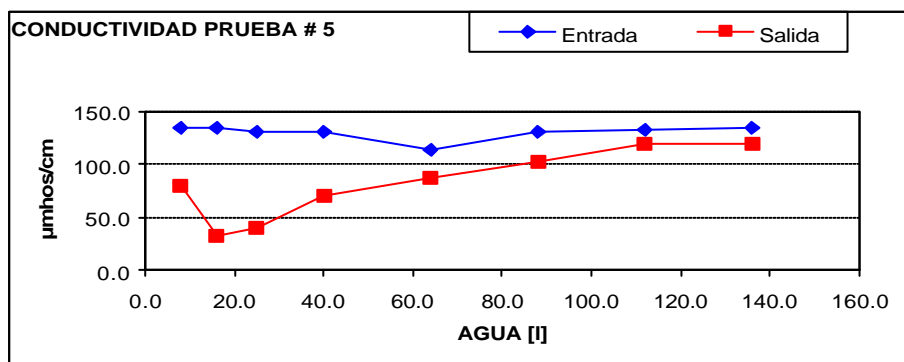


Figura 57. Comportamiento de la dureza en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 6.

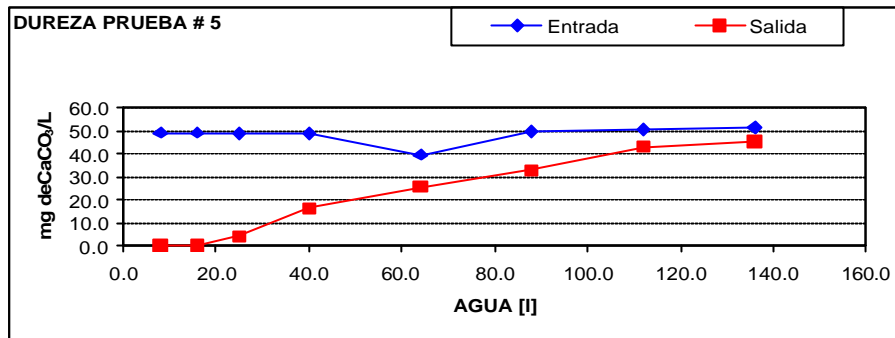


Figura 58. Comportamiento del contenido de sulfatos en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 6.

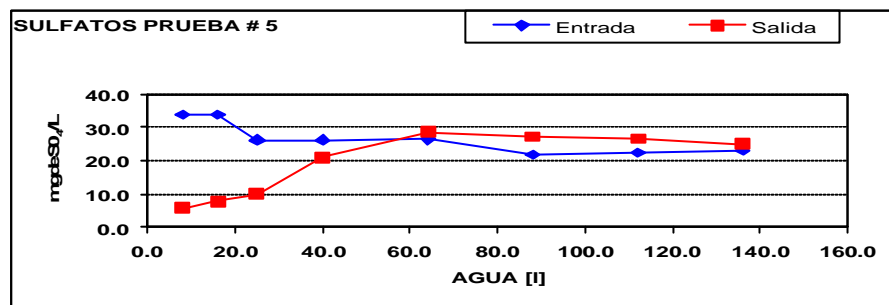


Figura 59. Comportamiento del contenido de cloruros en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 6.

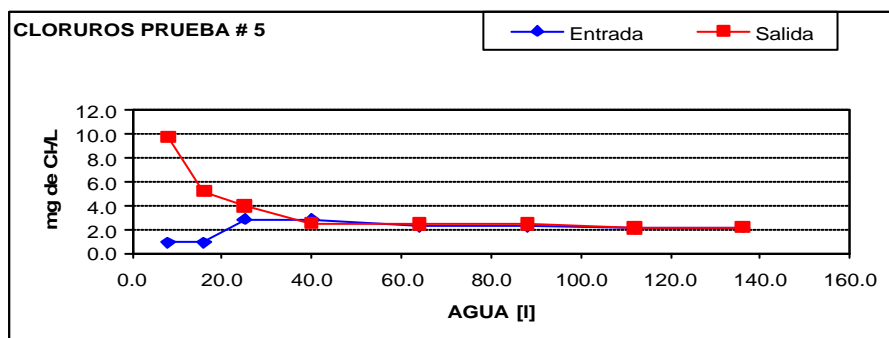


Figura 60. Comportamiento de la alcalinidad en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 6.

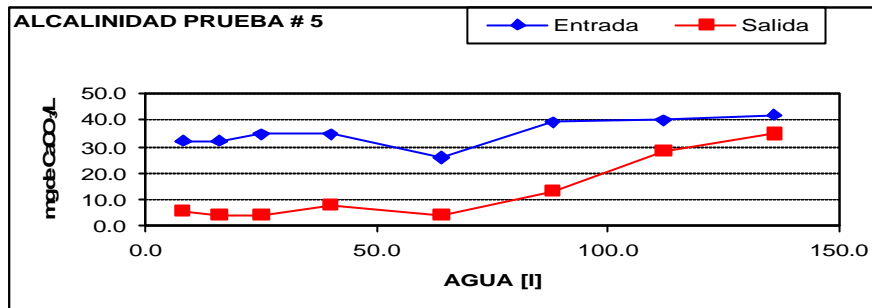


Figura 61. Comportamiento del contenido de nitritos en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 6.

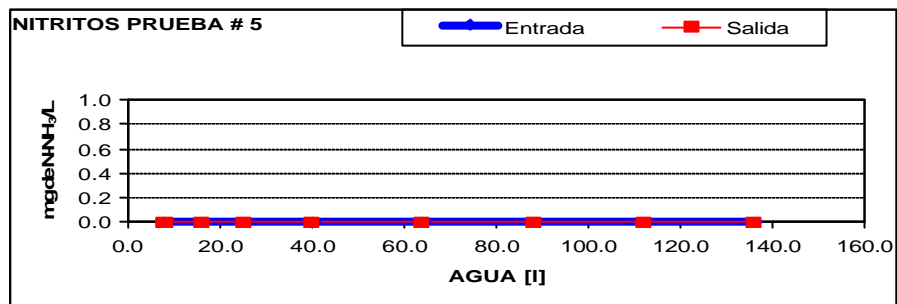
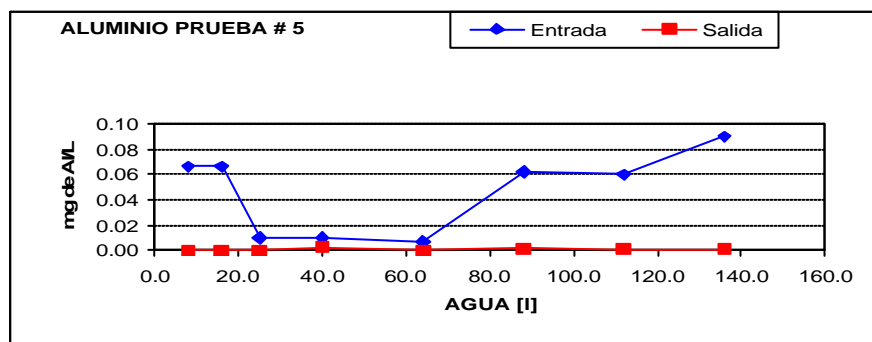


Figura 62. Comportamiento del contenido de aluminio en el agua a la entrada y salida de la columna en el montaje 6.



3.2 FIGURAS DE VALORES PROMEDIO

Figura 63. Representación grafica de los valores promedio de pH en el agua a la entrada y salida de la columna, para las cinco pruebas realizadas.

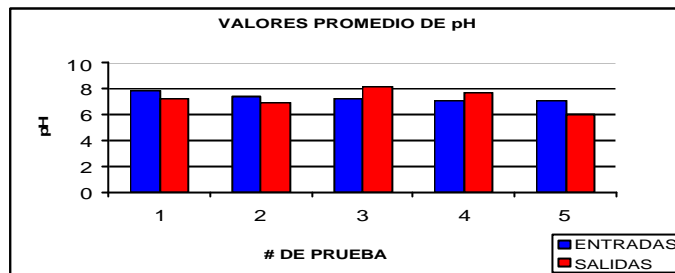


Figura 64. Representación grafica de los valores promedio de cloro residual en el agua a la entrada y salida de la columna, para las cinco pruebas realizadas.

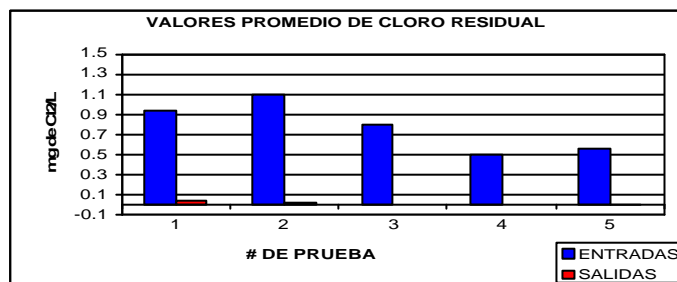


Figura 65. Representación grafica de los valores promedio de N-amoniaco en el agua a la entrada y salida de la columna, para las cinco pruebas realizadas.

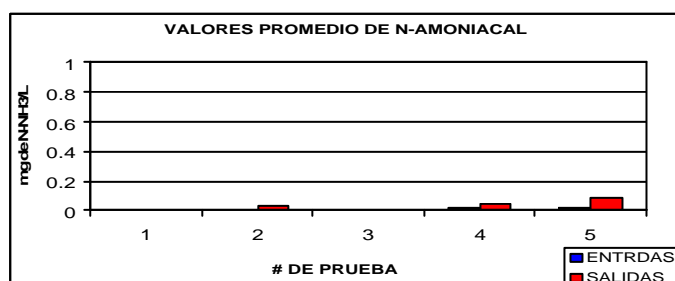


Figura 66. Representación grafica de los valores promedio de conductividad en el agua a la entrada y salida de la columna, para las cinco pruebas realizadas.

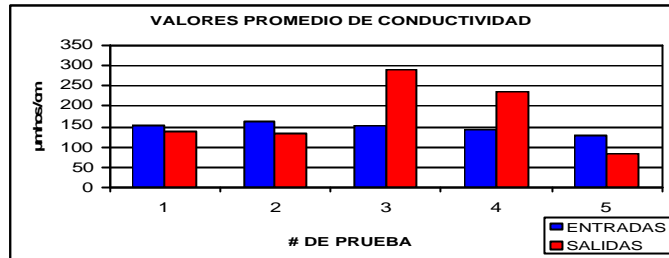


Figura 67. Representación grafica de los valores promedio de cloruros en el agua a la entrada y salida de la columna, para las cinco pruebas realizadas.

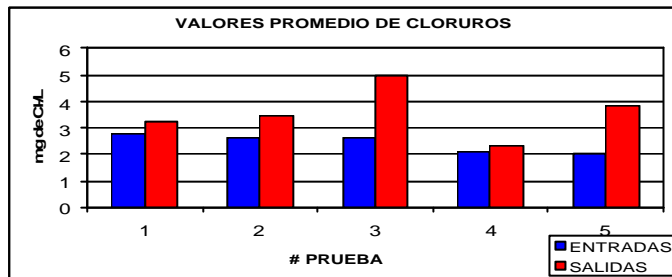


Figura 68. Representación grafica de los valores promedio de alcalinidad en el agua a la entrada y salida de la columna, para las cinco pruebas realizadas.

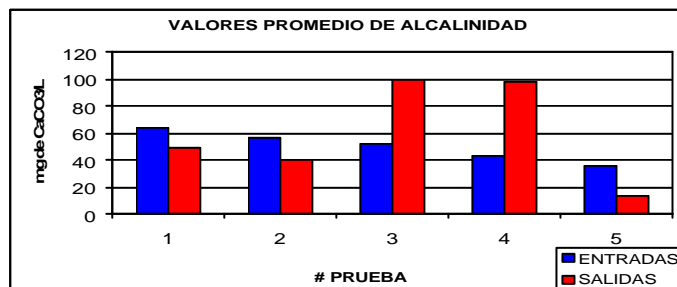


Figura 69. Representación grafica de los valores promedio de ortofosfatos en el agua a la entrada y salida de la columna, para las cinco pruebas realizadas.

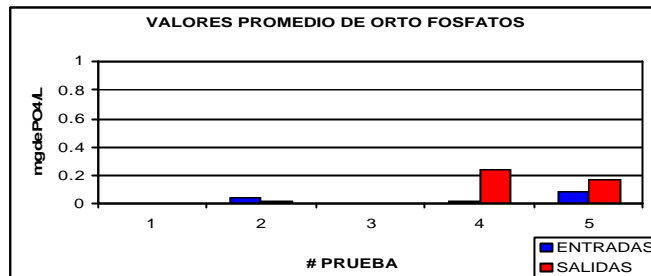


Figura 70. Representación grafica de los valores promedio de aluminio en el agua a la entrada y salida de la columna, para las cinco pruebas realizadas.

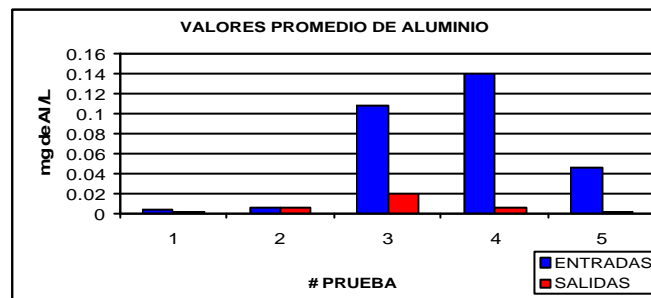


Figura 71. Representación grafica de los valores promedio de nitritos en el agua a la entrada y salida de la columna, para las cinco pruebas realizadas.

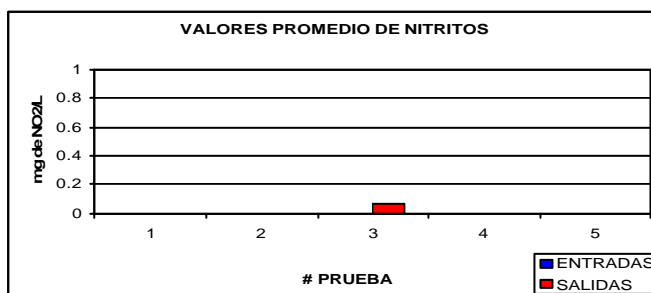


Figura 72. Representación grafica de los valores promedio de sulfatos en el agua a la entrada y salida de la columna, para las cinco pruebas realizadas.

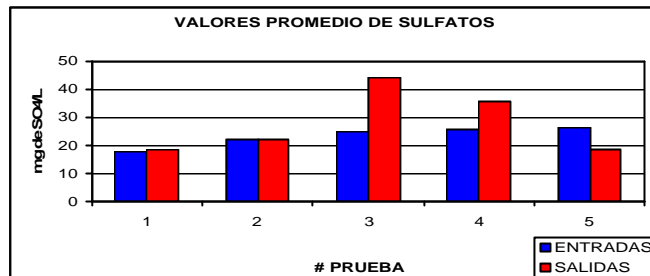
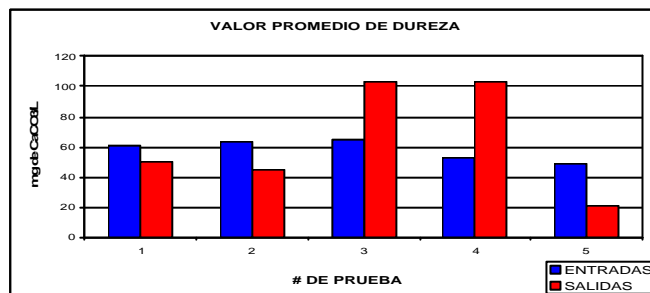


Figura 73. Representación grafica de los valores promedio de dureza en el agua a la entrada y salida de la columna, para las cinco pruebas realizadas.



3.3 TABLAS DEL COMPORTAMIENTO POR PARAMETRO EN CADA PRUEBA.

Tabla 2. Resultados obtenidos de la evaluación de parámetros fisicoquímicos en la prueba 1.

Muestras De Entrada Para La Prueba # 1									
Parámetros Analizados	Numero De Muestra								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
pH	7.8	7.8	7.7	7.8	7.7	7.7	7.8	7.8	8.1
Cloro Residual [mg de Cl ₂ /L]	1.3	0.9	0.9	0.8	0.9	0.8	0.9	1.0	1.0
Conductividad [µmhos/cm]	169.0	162.0	145.0	148.0	147.0	147.0	161.0	160.0	148.0
Dureza [mg de CaCO ₃ /L]	62	63.4	63.2	59.0	57.0	57.0	64.4	63.6	63.2
Sulfatos [mg de SO ₄ ⁻² /L]	16.7	15.8	16.8	117.4	18.6	18.6	16.8	16.2	23.3
Cloruros [mg de Cl ⁻ /L]	2.5	2.4	2.5	3.0	3.2	3.2	3.2	2.2	2.9
Alcalinidad [mg de CaCO ₃ /L]	64.3	63.0	62.9	60.0	62.0	62.0	69.6	68.2	60.0
Nitritos [mg de NO ₂ ⁻ /L]	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Aluminio [mg de Al/L]	0.01	ND	ND	ND	ND	ND	0.02	ND	ND
Color [UPC]	3.0	1.0	5.0	3.0	4.0	4.0	2.0	3.0	14.0
Turbiedad [UNT]	0.4	0.2	0.5	0.5	0.5	0.5	0.3	0.3	0.3
volumen de agua [L]	8.0	76.3	244.3	245.0	262.6	283.4	312.2	341.9	370.7

ND: No detectable a la mínima concentración para el método utilizado.

Tabla 3. Resultados obtenidos de la evaluación de parámetros fisicoquímicos en la prueba 1.

Muestras De Salida Para La Prueba # 1									
Parámetros Analizados	Numero De Muestra								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
pH	6.9	7.1	7.0	6.5	7.8	7.0	7.1	7.5	7.6
Cloro residual [mg de Cl ₂ /L]	ND	0.1	0.1	ND	0.1	ND	ND	ND	ND
Conductividad [µmhos/cm]	143.0	141.0	142.0	112.0	125.0	147.0	125.0	153.0	159.0
Dureza [mg de CaCO ₃ /L]	50.8	52.4	55.4	36.4	44.6	44.6	45.0	60.0	61.1
Sulfatos [mg de SO ₄ ⁻² /L]	14.4	115.6	16.5	17.9	19.5	40.4	16.7	14.0	12.8
Cloruros [mg de Cl ⁻ /L]	3.7	2.8	2.6	4.9	2.9	3.6	3.5	2.8	2.8
Alcalinidad [mg de CaCO ₃ /L]	49.9	51.0	54.7	32.0	46.0	42.6	42.8	61.4	63.2
Nitritos [mg de NO ₂ /L]	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Aluminio [mg de Al/L]	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Color [UPC]	21.0	21.0	20.0	5.0	56.0	7.0	3.0	2.0	238.0
Turbiedad [UNT]	21.5	7.1	6.0	2.11	16.3	2.2	0.9	0.5	29.8
volumen de agua [L]	8.0	76.3	244.3	245.0	262.6	283.4	312.2	341.9	370.7

ND: No detectable a la mínima concentración para el método utilizado.

Tabla 4. Resultados obtenidos de la evaluación de parámetros fisicoquímicos en la prueba 2.

Muestras De Entrada Para La Prueba # 2								
Parámetros Analizados	Numero De Muestra							
	1	2	3	4	5	6	7	8
pH	7.7	7.8	7.3	7.2	7.3	7.3	7.4	7.3
Cloro residual [mg de Cl ₂ /L]	0.9	0.7	0.9	1.2	1.4	1.0	1.4	1.3
Conductividad [µmhos/cm]	166	166	146	155	164	164	172	172
Dureza [mg de CaCO ₃ /L]	64.0	64.8	53.2	59.6	65.8	66.8	70.0	62.0
Sulfatos [mg de SO ₄ ⁻² /L]	16.4	15.7	21.0	21.5	30.2	21.1	26.6	27.2
Cloruros [mg de Cl ⁻ /L]	2.9	2.9	2.4	2.5	2.9	3.0	2.9	1.7
Alcalinidad [mg de CaCO ₃ /L]	67.4	64.0	50.2	53.6	48.4	60.6	57.6	53.2
Nitritos [mg de NO ₂ ⁻ /L]	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Aluminio [mg de Al/L]	0.03	0.03	0.01	0.01	0.05	0.16	0.18	0.01
N-Amoniacal [mg de N-NH ₃ /L]	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Ortofósforos [mg de PO ₄ ⁻³ /L]	0.08	0.07	0.04	0.03	0.03	0.02	ND	ND
volumen de agua [L]	3	275.5	351.7	385.1	385.8	419.8	430.4	434.9

ND: No detectable a la mínima concentración para el método utilizado.

Tabla 5. Resultados obtenidos de la evaluación de parámetros fisicoquímicos en la prueba 2.

Muestras De Salida Para La Prueba #								
Parámetros Analizados	Numero De Muestra							
	1	2	3	4	5	6	7	8
pH	6.0	6.0	7.0	7.2	7.3	7.1	7.1	7.5
Cloro residual [mg de Cl ₂ /L]	ND	0.04	0.07	0.01	ND	ND	0.05	ND
Conductividad [[µmhos/cm	44	83	144	140	157	158	173	173
Dureza [mg de CaCO ₃ /L]	3.6	21.2	25.4	52.4	60.2	62.8	71.6	62.6
Sulfatos [mg de SO ₄ ⁻² /L]	6.1	19.0	20.5	21.9	30.8	31.7	24.4	26.7
Cloruros [mg de Cl ⁻ /L]	6.0	2.6	2.8	2.1	3.3	3.5	5.5	2.2
Alcalinidad [mg de CaCO ₃ /L]	7.4	17	51.4	47.6	39.2	46	57.4	53.2
Nitritos [mg de NO ₂ ⁻ /L]	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Aluminio [mg de Al/L]	ND	0.02	ND	ND	ND	0.01	0.02	ND
N-Amoniacal [mg de N-NH ₃ /L]	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.1	0.1
Ortofósforos [mg de PO ₄ ⁻³ /L]	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	ND	0.01
volumen de agua [L]	3	275.5	351.7	385.1	385.8	419.8	430.4	434.9

ND: No detectable a la mínima concentración para el método utilizado.

Tabla 6. Resultados obtenidos de la evaluación de parámetros fisicoquímicos en la prueba 3.

Muestras De Entrada Para La Prueba # 3					
Parámetros Analizados	Numero De Muestra				
	1	2	3	4	5
pH	7.1	7.3	7.0	7.7	7.0
Cloro residual [mg de Cl ₂ /L]	0.5	1.0	0.4	1.0	1.1
Conductividad [µmhos/cm]	152	163	151	150	125
Dureza [mg de CaCO ₃ /L]	61.6	88.0	60.0	63.4	54.6
Sulfatos [mg de SO ₄ ²⁻ /L]	26.6	25.6	20.1	22.9	29.9
Cloruros [mg de Cl ⁻ /L]	2.8	3.0	2.6	2.1	2.6
Alcalinidad [mg de CaCO ₃ /L]	49.0	57.2	48.4	57.7	45.2
Nitritos [mg de NO ₂ ⁻ /L]	ND	ND	ND	ND	ND
Aluminio [mg de Al/L]	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1
volumen de agua [L]	10.0	280.0	523.0	106.2	109.3

ND: No detectable a la mínima concentración para el método utilizado.

Tabla 7. Resultados obtenidos de la evaluación de parámetros fisicoquímicos en la prueba 3.

Muestras De Salidas Para La Prueba # 3					
Parámetros Analizados	Numero De Muestra				
	1	2	3	4	5
pH	8.0	7.8	8.0	8.6	8.2
Cloro residual [mg de Cl ₂ /L]	ND	ND	ND	ND	ND
Conductividad [µmhos/cm]	251	269	290	344	303
Dureza [mg de CaCO ₃ /L]	80.8	96.0	102.2	125	108.6
Sulfatos [mg de SO ₄ ⁻² /L]	44.5	44.2	43.3	51.7	37.6
Cloruros [mg de Cl-/L]	7.2	5.5	4.6	4.5	3.4
Alcalinidad [mg de CaCO ₃ /L]	63.0	83.8	99.3	126.0	123.6
Nitritos [mg de NO ₂ ⁻ /L]	0.01	0.08	0.09	0.08	0.88
Aluminio [mg de Al/L]	0.085	0.001	ND	0.001	0.01
volumen de agua [L]	10.0	280.0	523.0	1106.2	1109.3

ND: No detectable a la mínima concentración para el método utilizado.

Tabla 8. Resultados obtenidos de la evaluación de parámetros fisicoquímicos en la prueba 4.

Muestras De Entrada Para La Prueba # 4											
Parámetros Analizados	Numero De Muestra										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
pH	7.1	7.1	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	6.8	6.8
Cloro residual [mg de Cl ₂ /L]	0.9	0.9	0.1	0.1	0.8	0.8	0.2	0.2	0.2	0.7	0.7
Conductividad [µmhos/cm]	143	143	146	146	159	159	132	132	132	134	134
Dureza [mg de CaCO ₃ /L]	53.2	53.2	55.0	55.0	61.2	61.2	48.4	48.4	48.4	49.2	49.2
Sulfatos [mg de SO ₄ ⁻² /L]	26.5	26.5	26.7	26.7	23.6	23.6	22.2	22.2	22.2	33.8	33.8
Cloruros [mg de Cl ⁻ /L]	2.3	2.3	2.5	2.5	2.8	2.8	2.0	2.0	2.0	0.9	0.9
Alcalinidad [mg de CaCO ₃ /L]	46.4	46.4	41.6	41.6	55.6	55.6	39.4	39.4	39.4	32.2	32.2
Aluminio [mg de Al/L]	0.03	0.03	0.29	0.29	0.08	0.08	0.20	0.20	0.20	0.07	0.07
N-Amoniacal [mg de N-NH ₃ /L]	0.04	0.04	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Ortofósforos [mg de PO ₄ ⁻³ /L]	0.06	0.06	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
volumen de agua [L]	9.0	17.0	34.0	42.0	59.0	67.0	84.0	92.0	100.0	124.0	133.0

ND: No detectable a la mínima concentración para el método utilizado.

Tabla 9. Resultados obtenidos de la evaluación de parámetros fisicoquímicos en la prueba 4.

Muestras De Salida Para La Prueba # 4											
Parámetros Analizados	Numero De Muestra										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
pH	7.6	7.8	7.7	7.7	7.7	7.8	7.6	7.7	7.6	7.7	7.6
Cloro residual [mg de Cl ₂ /L]	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Conductividad [[μmhos/cm	486	185	204	247	343	268	211	154	208	173	125
Dureza [mg de CaCO ₃ /L]	164.4	74.2	86.4	109.4	160.6	119.0	89.6	62.4	90.8	69.8	101.0
Sulfatos [mg de SO ₄ ⁻² /L]	44.8	41.5	35.5	34.9	30.8	31.4	29.0	26.5	31.7	34.1	56.5
Cloruros [mg de Cl-/L]	2.5	2.6	2.7	2.0	3.2	2.8	2.3	2.2	2.5	1.6	1.2
Alcalinidad [mg de CaCO ₃ /L]	220.4	73.0	70.3	104.0	152.8	112.0	84.4	48.2	80.2	55.0	77.8
Aluminio [mg de Al/L]	ND	0.01	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.02	0.01	ND
N-Amoniacal [mg de N-NH ₃ /L]	0.03	0.07	0.06	0.03	0.03	0.06	0.04	0.06	0.04	0.03	0.03
Ortofósforos [mg de PO ₄ ⁻³ /L]	0.51	0.28	0.26	0.20	0.11	0.12	0.13	0.17	0.23	0.30	0.31
volumen de agua [L]	9.0	17.0	34.0	42.0	59.0	67.0	84.0	92.0	100.0	124.0	133.0

ND: No detectable a la mínima concentración para el método utilizado.

Tabla 10. Resultados obtenidos de la evaluación de parámetros fisicoquímicos en la prueba 5.

Muestras De Entrada Para La Prueba # 5								
Parámetros Analizados	Numero De Muestra							
	1	2	3	4	5	6	7	8
pH	6.8	6.8	7.1	7.1	7.0	7.3	7.2	7.0
Cloro residual [mg de Cl ₂ /L]	0.7	0.7	0.2	0.2	0.1	1.1	0.5	1.0
Conductividad [µmhos/cm]	134	134	130	130	114	131	132	135
Dureza [mg de CaCO ₃ /L]	49.2	49.2	48.8	48.8	39.6	49.8	50.6	51.2
Sulfatos [mg de SO ₄ ⁻² /L]	33.8	33.8	26.1	26.1	26.4	21.7	22.3	23.0
Cloruros [mg de Cl ⁻ /L]	0.9	0.9	2.9	2.9	2.3	2.3	2.2	2.2
Alcalinidad [mg de CaCO ₃ /L]	32.2	32.2	34.8	34.8	26.0	39.2	40.0	42.0
Aluminio [mg de Al/L]	0.07	0.07	0.01	0.01	0.01	0.06	0.06	0.09
N-Amoniacal [mg de N-NH ₃ /L]	0.02	0.02	0.03	0.03	0.01	0.02	0.03	0.03
Ortofosfatos [mg de PO ₄ ⁻³ /L]	0.01	0.01	0.26	0.26	0.03	0.04	0.03	0.01
volumen de agua [L]	8	16	25	40	64	88	112	136

ND: No detectable a la mínima concentración para el método utilizado.

Tabla 11. Resultados obtenidos de la evaluación de parámetros fisicoquímicos en la prueba 5.

Muestras De Salida Para La Prueba # 5								
Parámetros Analizados	Numero De Muestra							
	1	2	3	4	5	6	7	8
pH	6.0	5.5	5.2	5.5	6.0	6.6	6.7	6.8
Cloro residual [mg de Cl ₂ /L]	ND	ND	ND	ND	ND	0.04	ND	0.01
Conductividad [µmhos/cm]	80	32	41	71	87	102	119	120
Dureza [mg de CaCO ₃ /L]	ND	ND	4.0	16.2	25.6	32.8	43.0	45.0
Sulfatos [mg de SO ₄ ⁻² /L]	5.8	7.6	10.0	20.9	28.5	32.8	43.0	45.0
Cloruros [mg de cl-/L]	9.8	5.2	4.0	2.5	2.5	2.5	2.2	2.2
Alcalinidad [mg de CaCO ₃ /L]	5.8	4.4	4.4	8.1	4.1	13.4	28.2	35.0
Aluminio [mg de Al/L]	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
N-Amoniacal [mg de N-NH ₃ /L]	0.41	0.07	0.01	0.17	0.01	0.02	0.02	0.02
Ortofosfatos [mg de PO ₄ ⁻³ /L]	0.41	0.34	0.21	0.20	0.01	0.02	0.06	0.06
volumen de agua [L]	8	16	25	40	64	88	112	136

ND: No detectable a la mínima concentración para el método utilizado.

3.4 TABLAS DE VALORES PROMEDIO PARA CADA PARÁMETRO A LA ENTRADA Y SALIDA DE LA COLUMNA.

Tabla 12. Valores promedio obtenidos para cada parámetro a la entrada de la columna.

Valores promedio obtenidos para cada prueba a la entrada de la columna					
Parámetros Analizados	numero de muestra				
	1	2	3	4	5
pH	7.79	7.39	7.21	7.08	7.01
Cloro residual [mg de Cl ₂ /L]	0.92	1.1	0.78	0.50	0.54
Conductividad [µmhos/cm]	154.11	163.12	152.2	141.81	130.00
Dureza [mg de CaCO ₃ /L]	61.42	63.27	65.51	52.94	48.40
Sulfatos [mg de SO ₄ ²⁻ /L]	17.80	22.46	25.02	26.14	26.65
Cloruros [mg de Cl ⁻ /L]	2.77	2.61	2.61	2.08	2.05
Alcalinidad [mg de CaCO ₃ /L]	63.55	56.87	51.49	42.7	35.15
Nitritos [mg de NO ₂ ⁻ /L]	ND	ND	ND	ND	ND
Aluminio [mg de Al/L]	0.004	0.006	0.108	0.139	0.046
N-Amoniacal [mg de N-NH ₃ /L]		ND		0.023	0.023
Ortofosfatos [mg de PO ₄ ³⁻ /L]		0.033		0.017	0.081

ND: No detectable a la mínima concentración para el método utilizado.

Tabla 13. Valores promedio obtenidos para cada parámetro a la salida de la columna.

Valores promedio obtenidos para cada prueba a la salida de la columna					
Parámetros Analizados	numero de muestra				
	1	2	3	4	5
pH	7.17	6.9	8.11	7.65	6.04
Cloro residual [mg de Cl ₂ /L]	0.03	0.02	0	0	0
Conductividad [µmhos/cm]	138.5	134.0	291.4	236.7	81.5
Dureza [mg de CaCO ₃ /L]	50.03	44.97	102.51	102.50	20.82
Sulfatos [mg de SO ₄ ⁻² /L]	18.65	22.62	44.21	36.04	18.94
Cloruros [mg de Cl ⁻ /L]	3.27	3.46	5.00	2.31	3.83
Alcalinidad [mg de CaCO ₃ /L]	49.2	39.9	99.1	98.0	12.9
Nitritos [mg de NO ₂ ⁻ /L]	0.000	0.000	0.072	0.000	0.000
Aluminio [mg de Al/L]	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
N-Amoniacal [mg de N-NH ₃ /L]		0.036		0.043	0.091
Ortofosfatos [mg de PO ₄ ⁻³ /L]		0.01		0.23	0.16

ND: No detectable a la mínima concentración para el método utilizado.

4. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 CONDUCTIVIDAD

La conductividad para las pruebas P1, P2 y P5, mostró un descenso promedio de 21% (inferior a 50 $\mu\text{mhos} / \text{cm}$) para las muestras tomadas a la salida de la columna con respecto al valor que se obtuvo para las muestras de entrada correspondientes a cada prueba. Tal como se muestra en la figura 66, estas tres pruebas corresponden al 60% de los casos evaluados.

Por otra parte las muestras a la salida de la columna para las pruebas P3 y P4 presentaron aumentos promedio, superiores al 67% (aproximadamente más de 100 $\mu\text{mhos} / \text{cm}$) en la conductividad del agua, los cuales están íntimamente relacionados con el aumento de la dureza, alcalinidad y pH para estas mismas pruebas.

Al observar las figuras 12, 22, 34, 45 y 56 se observa que a pesar de la disminución inicial en la conductividad, hay una progresiva tendencia de aproximación de los valores de salida a los valores de entrada a medida que transcurre la prueba, hasta el punto en que estos se igualan.

Todo lo anterior muestra que la tendencia general de este parámetro para los casos evaluados es a mantenerse constante o a presentar aumentos considerables, mas no descensos drásticos en su valor numérico.

Luego para muestras que presenten descensos radicales en la conductividad respecto al agua tratada, se puede considerar que el comportamiento no corresponde al que presenta el agua de las redes del amb al infiltrarse, lo cual

indicaría que muy posiblemente el agua que esta ocasionando este daño o infiltración no provenga de las redes de distribución del amb. En caso contrario este parámetro no nos suministraría información útil.

4.2 ALCALINIDAD

La figura 68 muestra que el 40% de los casos evaluados presentaron un aumento drástico, mayor o igual al 92% (más de 50 mg de CaCO_3/L), en los valores a la salida de la columna respecto a los valores de entrada, el cual se puede atribuir a la facilidad con que se disolvieron las muestras de terreno utilizadas en las pruebas P3 y P4. Hecho que probablemente aumenta la concentración de iones en el agua y afecta directamente a la alcalinidad, conductividad, dureza y pH entre otros.

Además para el 60% de los casos evaluados se observó un descenso promedio de la alcalinidad a la salida que estuvo alrededor del 38% con respecto a las muestras de entrada (menos de 20 mg de CaCO_3/L).

Al analizar el comportamiento de cada una de las pruebas, en las figuras 19, 29, 38, 49 y 60 se encontró que para las pruebas P1, P2 y P5 la tendencia es de aumento por parte de los valores de salida, hasta el punto en que los valores de entrada y salida se mantienen muy próximos o iguales en algunos puntos.

Por otra parte, el comportamiento de la prueba P4 es fluctuante y no llega en ningún punto a presentarse igualdad en los valores de entrada y salida, mientras que la prueba P3 presentó un aumento progresivo con tendencia constante de los valores de salida con respecto a los valores de entrada.

El análisis del comportamiento de este parámetro para las pruebas realizadas nos indica de manera general, que un descenso drástico de la alcalinidad de una

muestra de agua procedente de una infiltración, con respecto al agua potable, no es un comportamiento típico para el agua tratada al infiltrarse por un terreno, luego en tal caso, este parámetro nos indicaría que muy posiblemente el agua infiltrada no proceda de las redes de distribución del amb.

4.3 DUREZA

Al observar los valores promedio de dureza representados en la figura 73 se encontró que para el 60 % del total de los casos evaluados, el valor de la dureza del agua que paso por la columna, se ve disminuida en promedio un 35% (menos de 30 mg de CaCO_3 /L) con respecto a los valores obtenidos para las muestras de entrada.

El análisis del comportamiento de las pruebas P1, P2 y P5 que se representan en las figuras 11, 21, y 57 nos muestra que a medida que transcurre la prueba, los valores de salida para este parámetro tienen una tendencia de aproximación hacia los de entrada, hasta el punto en que llegan a ser iguales.

Las pruebas P3 y P4 que se representan en las figuras 35 y 46 muestran un aumento promedio superior o igual al 56% (más de 50 mg de CaCO_3 /L) en el valor de la dureza del agua que atravesó los mantos de terreno. Los valores del parámetro a la salida de la columna mantuvieron una tendencia de incremento y siempre distantes de los valores de entrada para P3 y P4.

De manera general se puede considerar que el comportamiento de este parámetro no es lo suficientemente marcado como para considerarlo representativo y útil en el análisis de aguas de infiltración, pero es importante tener en cuenta que mantiene la misma tendencia de incremento que la conductividad y la alcalinidad.

4.4 pH

Como se puede observar en la figura 63 el 60% de las pruebas efectuadas muestran una disminución promedio del 11.3 % (menos de 1 unidad de pH) en el valor del pH, siendo estos porcentajes la representación de los resultados de las pruebas P1, P2 y P5.

La disminución observada en el pH nos indica que la mayoría de los terrenos utilizados para el ensamblaje de las columnas, generan un aporte de iones al agua, lo cual se ratifica con el comportamiento que presentaron otros parámetros como la alcalinidad, dureza y conductividad.

Al revisar las figuras 16, 24 y 52 para P1, P2 y P5 se encontró que la diferencia entre los valores de entrada y salida se hizo menor a medida que transcurría el lavado, con un aumento paulatino de los valores de salida hasta igualar a los de entrada.

Por otra parte las pruebas P3 y P4 mostraron un aumento promedio de pH en un 10% a la salida de la columna, que corresponde al 40% de los casos evaluados. Además se hace notorio en el comportamiento particular de estas pruebas que en ningún momento los valores de pH muestran una tendencia específica.

Con base en todo lo anterior se puede decir que para los casos evaluados el pH para el agua tratada al atravesar un manto de terreno, se mantiene cercano al pH del agua tratada antes de infiltrarse, con variaciones menores a 1 unidad de pH en promedio.

4.5 CLORO RESIDUAL

Para este parámetro el 100% de las pruebas realizadas, mostraron una inactivación del cloro al pasar a través de las columnas, tal como lo muestra la figura 64 de valores promedio.

Por otra parte al examinar las figuras 14, 23, 33, 43 y 54 que corresponden a cada una de las pruebas, se observa una leve actividad de cloro a la salida en P1 y P2, que coincide con el aumento en la concentración de cloro para las muestras de entrada, además esto corresponde a una sola medición dentro del grupo de mediciones que se realizó para cada prueba y puede ser atribuida a posible contaminación de la celda del espectrofotómetro.

El comportamiento observado para este parámetro, nos muestra que el método de actividad de cloro residual que utiliza el personal de redes para determinar si el agua que brota en una infiltración es o no proveniente del acueducto, no es para nada útil, pues el agua tratada al infiltrarse, inactiva por completo el cloro residual y no hace posible su detección.

4.6 NITRÓGENO AMONIACAL

Este parámetro solo fue evaluado en tres de las cinco pruebas realizadas y se observa un notorio aumento de más del 100% (más de 0.06 mg de $\text{N-NH}_3/\text{L}$) en la concentración del mismo para el 100% de las pruebas (P2, P4 y P5).

Además para las muestras de entrada solo se detectó la presencia de nitrógeno amoniacal en las pruebas P4 y P5, luego en la prueba P2 se detectó N-amoniaco a la salida debido a la lixiviación que hizo el agua al terreno (0.036 mg de NO_2/L).

Las figuras 25, 42 y 53 muestran que este parámetro presenta un comportamiento fluctuante y totalmente distinto para cada prueba.

Cabe destacar que a pesar de que se observó un aumento para el 100% de los casos evaluados, no se obtuvieron valores superiores a 0.1 mg / l, lo cual nos marca una notoria diferencia con el contenido de nitrógeno amoniacal en aguas residuales.

El comportamiento de los resultados obtenidos para este parámetro, nos muestra que el contenido de nitrógeno amoniacal del agua tratada que atraviesa un manto de terreno, se incrementa, pero sin llegar a alcanzar concentraciones elevadas (máximo 0.091 mg de N-NH₃/L).

4.7 SULFATOS

La figura 72 muestra que para el 80% de los casos evaluados hubo un incremento promedio de 30% (20 mg de SO₄⁻² /L) en el contenido de sulfatos en el agua de salida respecto al agua de entrada a la columna.

En las figuras 17, 27 y 58 que muestran el comportamiento particular de las pruebas P1, P2 Y P5, se observa que inicialmente el contenido de sulfatos en el agua de salida es menor que en el agua de entrada, pero paulatinamente con el transcurso de la prueba se nota el aumento en el contenido de sulfatos a la salida, acompañado del descenso de la concentración de los mismos en la entrada.

Cabe anotar que el contenido de sulfatos en el agua de entrada es fluctuante debido a la adición de sulfato de aluminio en el tratamiento del agua. A pesar de lo anterior es evidente que el paso del agua por la columna provoca cambios en el contenido de sulfatos de manera temporal, pues al final del lavado los valores de entrada y salida son prácticamente iguales y presentan pequeñas fluctuaciones debidas al sulfato de aluminio agregado al agua tratada.

Por otra parte el contenido de sulfatos para la prueba P5, disminuyó un 29% respecto al agua de entrada, luego las variaciones de este parámetro son muy diversas pero prevalece el hecho de que para todos los casos evaluados se detectó la presencia de sulfatos en concentraciones de ± 20 mg de SO_4^{-2} /L respecto a las concentraciones de entrada.

4.8 CLORUROS

El contenido de cloruros para las muestras tomadas a la salida de la columna tuvo un aumento promedio de 47% (0.3 – 2.4 mg de Cl^- /L) en el 100% de las pruebas realizadas, tal como se muestra en la figura 67.

El aumento del contenido de cloruros a la salida, tiene en parte explicación en las reacciones que pueden tener lugar entre el cloro residual que se inactiva y iones libres presentes en el terreno (ruptura de cloroaminas para formar cloruros) ; además es notorio en las figuras 18, 28, 37, 48 y 59 que a medida que transcurre el lavado en todas las pruebas, el contenido de cloruros a la salida desciende paulatinamente hasta igualarse al valor de entrada, lo cual nos confirmaría que en el momento en que se inactiva todo el cloro residual, no se detecta ningún cambio apreciable en el contenido de cloruros del agua de salida.

Cabe anotar que el contenido de cloruros a la salida siempre se mantuvo por debajo de 6 mg de Cl^- /L y por arriba del valor observado para el agua de entrada, lo cual nos indica que para muestras que presenten un contenido de cloruros muy superior o inferior respecto al agua tratada, este parámetro nos aporta una prueba de descarte para aguas provenientes del amb, como posible fuente de origen de un infiltración específica.

4.9 NITRITOS

Como se muestra en la figura 71 el contenido de nitritos para las muestras de entrada siempre fue cero o no detectable por el equipo, además solo en el 40% de los casos evaluados se pudo detectar un contenido mínimo de nitritos en las muestras de salida, el cual obviamente es un lixiviado del terreno.

Al observar las figuras 30 y 39 de las pruebas P2 y P3 se encontró que el contenido de nitrito para la prueba P2 descendió a cero al final del lavado, mientras que para la prueba P3 la tendencia fue de aumento llegando a mantener el valor prácticamente constante entre 0.08 y 0.09 mg de NO_2^- / L al final del lavado. Lo cual muestra que el contenido de nitritos en los casos evaluados, generalmente es inferior a 0.1 mg de NO_2^- / l y con comportamiento fluctuante. Esto muestra que cuando se presentan concentraciones elevadas de nitritos para una muestra de agua procedente de una infiltración ocasionada por una fuga de agua potable, será como consecuencia de una contaminación por materia orgánica en descomposición en el lugar de la infiltración.

4.10 ORTOFOSFATOS

En la figura 69 se observa que el 66% de las pruebas presentó un aumento promedio del valor de salida, superior al 100% (mas de 0.22 mg de PO_4^{-3} /L) con respecto a los valores de entrada, sin que esto nos indique un comportamiento definido y generalizado para la mayoría de las pruebas.

Tal como se observa en las figuras 26, 44 y 55 el comportamiento es fluctuante y distinto para cada prueba, además los valores máximos obtenidos para este parámetro son muy inferiores a los que se podrían detectar de manera general en un agua residual o incluso en un agua natural.

Luego para una muestra proveniente de una infiltración, donde se detecten concentraciones superiores a 0.25 mg de PO_4^{-3} /L se puede asumir que probablemente su origen no se encuentra en una red de agua potable.

4.11 ALUMINIO RESIDUAL

Para este parámetro se pudo determinar que pese a que en la figura 70 se muestra que en el 80% de los casos evaluados el contenido de aluminio en la entrada es mayor (0.003– 0.2 mg de Al/L) que el contenido de aluminio a la salida de la columna, la concentración de este metal en las muestras evaluadas depende de la adición de sulfato de aluminio en el tratamiento del agua y presenta cambios insignificativos que en ocasiones no son detectables a la mínima concentración para el método de cuantificación utilizado.

En las figuras 20, 31, 40, 51 y 62 se observa que el descenso en el contenido de aluminio para la salida de la columna es generalizado y que en todo los casos presenta fluctuaciones relacionadas con los cambios drásticos del contenido de este metal en la entrada. Además la concentración de salida nunca sobrepasaron los 0.1 mg / l de Al.

Todo lo anterior nos indica que una elevada concentración de aluminio en una muestra de agua proveniente de una infiltración no es característica del agua potable al infiltrarse.

4.12 TURBIEDAD Y COLOR

Al realizar las pruebas preliminares se observo que estos parámetros físicos, no aportaban información útil para el presente trabajo, pues ellos variaban drásticamente con la granulometría del terreno utilizado y la forma en que se armaba la columna.

5 CONCLUSIONES

De manera general se puede concluir que en una evaluación fisicoquímica de muestras de agua provenientes de infiltraciones ocasionadas por fugas en redes de agua potable, no se puede esperar que los valores que se obtengan para los distintos parámetros fisicoquímicos, sean siempre próximos a los que presenta una muestra de agua potable, pues los resultados obtenidos en este trabajo muestran que siempre se presentan variaciones fisicoquímicas en el agua al pasar por un manto de terreno, las cuales se hacen mas o menos marcadas para cada parámetro en los distintos tipos de terreno.

Debido a la variabilidad en el comportamiento de todos los parámetros aquí evaluados, no se hace posible diseñar una metodología totalmente efectiva para determinar la procedencia del agua que da origen a una infiltración. Sin embargo el hecho de conocer ahora el comportamiento fisicoquímico del agua tratada al infiltrarse por un terreno, permite hacer recomendaciones basadas en la información obtenida en el presente trabajo y no en la experiencia del analista, como se venia haciendo en el laboratorio del amb.

Acerca del comportamiento de la conductividad, alcalinidad y dureza en muestras de aguas provenientes de infiltraciones ocasionadas por fugas en una red de agua potable, se puede afirmar que para los casos estudiados en este trabajo, los tres parámetros mostraron una tendencia de incremento respecto a los valores que se obtienen de un agua potable antes de infiltrarse en un terreno, además es importante destacar que en ocasiones se pueden obtener valores inferiores a los del agua potable, los cuales al dejar evolucionar la infiltración tienden a incrementar, por lo menos hasta igualar a los que presenta un agua tratada.

Con respecto al pH, se puede decir que las variaciones observadas en el agua potable al infiltrarse son bastante moderadas y que en los casos estudiados la diferencia entre los valores de entrada y salida se hizo menor a medida que transcurría la prueba, con un aumento paulatino de los valores de salida hasta igualar a los de entrada. Lo cual indica que el pH del agua potable al infiltrarse tiende a mantenerse cercano al del agua antes de pasar por el terreno, con variaciones inferiores a 1 unidad de pH.

Acercas del cloro residual se puede concluir que en una infiltración ocasionada por una fuga de agua potable, muy posiblemente, nunca se detecte la presencia de cloro residual, pues en los casos evaluados este siempre se inactiva al entrar en contacto con el terreno.

Los resultados obtenidos en el presente trabajo nos muestran que el contenido de nitrógeno amoniacal del agua tratada que atraviesa un manto de terreno, se incrementa, sin llegar a alcanzar concentraciones elevadas (máximo 0.091 mg de N-NH₃/L). Luego si al analizar una muestra proveniente de una infiltración en la cual no existan fuentes de contaminación, encontramos concentraciones de nitrógeno amoniacal superiores a 0.1 mg de N-NH₃/L, muy posiblemente el agua que esta dando origen a esta infiltración no provenga de las redes de agua potable.

Los resultados obtenidos para la evaluación de sulfatos y cloruros nos permiten decir que si en una muestra proveniente de una infiltración no se detectan concentraciones de sulfato y cloruros cercanas (± 10 mg de SO₄/L y ± 6 mg de Cl⁻/L respectivamente) o superiores a las del agua que se suministra en el sector por el amb, muy posiblemente el origen de la infiltración no se encuentre en las redes de distribución de agua potable.

La realización del presente trabajo permitió establecer que si en una muestra proveniente de una infiltración se detectaron concentraciones elevadas de nitritos (superiores a 0.1 mg de NO_2^- / l) y en el lugar de la infiltración no se encuentran evidencias de materia orgánica en descomposición, es muy posible que el origen de la infiltración no se encuentre en una red de agua potable; pero si por el contrario no se detecta presencia de nitritos, el análisis de este parámetro no nos aporta información útil para la identificación de la procedencia del agua que esta dando origen a la infiltración.

Los resultados de este trabajo revelan que para una muestra proveniente de una infiltración en la que se detecten concentraciones superiores a 0.25 mg de PO_4^{-3} /L, se puede asumir que probablemente su origen no se encuentra en una red de agua potable, en caso contrario, es decir si las concentraciones detectadas son = 0.25 mg de PO_4^{-3} /L, la evaluación de este parámetro no es útil para la elaboración de un dictamen acerca de la procedencia del agua que origina dicha infiltración.

Con base en los casos evaluados se puede concluir que la concentración de aluminio en muestras de aguas de infiltración originadas por fugas de agua potable es baja, pues en los casos evaluados nunca se obtuvieron concentraciones superiores a 1 mg de Al^+ /L.

Es importante destacar que para que los datos obtenidos en el presente proyecto sean verdaderamente útiles en la elaboración de un dictamen o una recomendación acerca de la procedencia del agua que da origen a una infiltración, se hace indispensable tener conocimiento del estado ambiental del lugar donde se esta produciendo la infiltración, es decir conocer detalles del lugar donde se tome la muestra, pues estos detalles pueden guiar al analista sobre la posibilidad de que la muestra contenga contaminantes que afecten los resultados de la evaluación fisicoquímica de la misma.

6 RECOMENDACIONES

En vista del interés mostrado por parte del laboratorio de control calidad aguas del amb por investigar acerca de la evaluación fisicoquímica de aguas de infiltración, se recomienda para futuras investigaciones ampliar la cantidad de parámetros fisicoquímicos a evaluar a este tipo de muestras. El análisis de parámetros mas íntimamente relacionados con la química de los suelos pueden aportar información con comportamientos y valores mas marcados que permitan hacer una selección de variables fisicoquímicas representativas para la evaluación de este tipo de muestras.

Por otra parte seria importante contar con el análisis químico de las muestras de terreno a utilizar en futuros trabajos. De esta manera se podría cuantificar mejor la remoción y deposito de sustancias tanto en el agua como en el suelo y a su vez conocer de una manera más amplia las diferentes variaciones que puede presentar el agua potable o tratada al infiltrarse a través de los suelos.

En nuevos trabajos se recomienda realizar pruebas con aguas residuales y naturales con el fin de ampliar los conocimientos acerca de los cambios químicos que los suelos le provocan a las aguas. En el momento no se conoce el comportamiento químico tanto de las aguas residuales como naturales al pasar a través de mantos de terreno y mucho menos si este es similar o diferente al del agua potable.

A pesar de que el presente trabajo proporciona una serie de datos acerca del comportamiento del agua potable al atravesar mantos de terreno, seria bueno que el amb contemplase la posibilidad de aplicar otras técnicas para la identificación de este tipo de muestras, como la utilización de trazadores, pues existen métodos económicos y versátiles que se podrían implementar.

ANEXOS

Anexo A. resultados del análisis de textura para suelos utilizando el método del hidrómetro de Bouyoucos .

ANALISIS DE TEXTURA				
Sector De Toma De Muestra	Caracterización De Las Muestras			Textura
	% de arena	% de limo	% de arcilla	
cañaveral	40	20	40	FRANCOCO-ARCILLOSO
ICBF norte	62	14	24	FRANCO-ARCILLO-ARENOSO
La joya	80	12	8	ARENO-FRANCO-ARCILLOSO
Cenfer	68	16	16	FRANCO-ARENOSO
Plaza guarín	52	14	34	FRANCO ARCILLO-ARENOSO
terrazas	48	12	40	ARCILLO ARENOSO

Bibliografía

1. REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO RAS – 2000, SECCION II, TÍTULO B, SISTEMAS DE ACUEDUCTO, Ministerio de Desarrollo Económico, Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico, , República de Colombia, BOGOTA D.C., NOVIEMBRE DE 2.000
2. http://www.acueductodebucaramanga.com/procesos/pc_control_calidad.asp
3. Kemmer Frank, Mccallion John. Manual del Agua su Naturaleza, Tratamiento y Aplicaciones. Nalco Chemical Company. Mc Graw – Hill. Tomo I. Mexico 1993.
4. Bornemisza Elemer. Introducción a la Química de los Suelos, secretaria general de la organización de los estados americanos programa regional de desarrollo científico y tecnológico, Washington, D.C. 1982; p. 37,38,39.
5. Romero Jairo. Acuiquímica. Escuela Colombiana de Ingeniería. Editorial Presencia. Primera Edición, 1996; p. 53,54, 61-93, 101-105.
6. Standard methods for the examination of water and wastewater. APHA, AWWA, WEF. 19th edition. 1999.
7. Ortiz Manuel, Ruiz Manuel, ESTUDIO SOBRE LAS INFILTRACIONES DE LA QUEBRADA "LA FLORA" HACIA LA MESETA DE BUCARAMANGA. Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingeniería Civil. Tesis de pregrado, UIS 1997.

8. Salinas Fabio, SUELOS. Universidad Surcolombiana Neiva Huila, 1985.
9. Chapman, Homer. METODOS DE ANALISIS PARA SUELOS, PLANTAS Y AGUAS. Trillas Mexico, 1979.
10. VELEZ O, MARIA. HIDRAULICA DE AGUAS SUBTERRANEAS. Universidad Nacional de Colombia. Medellín, 1999.
11. Forero R, Felix. ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES REOLOGICAS DE LAS SUSPENSIONES AGUA-ARCILLA PREPARADAS CON LAS ARCILLAS DE LOS ALREDEDORES DE BUCARAMANGA. Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Tesis de pregrado. 1978.