

**EVALUACIÓN DE LA CARGA DE FÓSFORO AL RÍO BOGOTÁ RELACIONADO
CON EL USO DE DETERGENTES EN LA CAPITAL**

ANDREA DEL PILAR GONZÁLEZ TORRES



**UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE CIVIL Y AMBIENTAL
BOGOTÁ D.C.
2005**

**EVALUACIÓN DE LA CARGA DE FÓSFORO AL RÍO BOGOTÁ RELACIONADO
CON EL USO DE DETERGENTES EN LA CAPITAL**

ANDREA DEL PILAR GONZÁLEZ TORRES

Proyecto de grado para optar el título de
Ingeniera Ambiental

Director

SERGIO BARRERA TAPIAS

Ingeniero Civil, Msc.



**UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE CIVIL Y AMBIENTAL
BOGOTÁ D.C.**

2005

AGRADECIMIENTOS

A mi familia por su apoyo incondicional y constante motivación.

A Sergio Barrera por sus valiosos aportes y orientación.

Al personal del laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad de los Andes.

A mis amigos y compañeros que de una u otra manera me ayudaron.

CONTENIDO

RESUMEN	10
1. INTRODUCCIÓN.....	11
1.1 ASPECTOS GENERALES Y JUSTIFICACIÓN.....	11
2. OBJETIVOS	13
3. METODOLOGÍA	14
4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	15
4.1 COMPOSICIÓN DE LOS DETERGENTES SINTÉTICOS.....	15
4.1.1 Reforzadores.....	19
4.2 ANTECEDENTES DEL USO DEL TPP.....	21
4.3 TRIPOLIFOSFATO PENTASODICO (TPP)	23
4.3.1 Ventajas del TPP.....	23
4.3.2 Desventajas del TPP.....	24
4.4 SUSTITUTOS DEL TPP.....	28
5. MERCADO DE DETERGENTES EN BOGOTÁ.....	32
6. DUREZA DEL AGUA.....	36
6.1 DUREZA DEL AGUA EN BOGOTÁ.....	37
6.1.1 Dureza Total.....	40
6.1.2 Dureza cálcica.....	44
7. CARGA DE FÓSFORO EN EL RÍO BOGOTÁ.....	47
8. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	55
8.1 DETERMINACIÓN DE FOSFATOS EN EL DETERGENTE POR EL MÉTODO DE ÁCIDO VANOMOLIBDOFÓSFORICO	55
8.1.1 Descripción.....	55
8.1.2 Interferencias.....	57
8.1.3 Equipos, Reactivos y Soluciones.....	59
8.1.4 Procedimiento.....	60
8.2 DETERMINACIÓN DEL SURFACTANTE ANIÓNICO EN EL DETERGENTE POR EL MÉTODO DE SUSTANCIAS ACTIVAS DE AZUL DE METILENO (SAAM)	60

8.2.1 Descripción.....	60
8.2.2 Interferencias.....	61
8.2.3 Equipos, Reactivos y Soluciones.....	61
9. RESULTADOS Y OBSERVACIONES.....	63
9.1 SELECCIÓN DE LAS MUESTRAS DE DETERGENTES.....	63
9.2 DETERMINACIÓN DE FÓSFORO EN LOS DETERGENTES.....	63
9.2.1 Hidrólisis del Fósforo.....	63
9.2.2 Interferencias.....	64
9.2.3 Curva de calibración.....	64
9.3 RESULTADOS DE PORCENTAJE DE SAAM EN LAS MUESTRAS DE DETERGENTES.....	71
9.3.1 Curva de calibración.....	71
9.3.2 Resultados de análisis de laboratorio.....	72
9.4 Dureza del agua y eficiencia del detergente.....	74
9.5 PORCENTAJE ÓPTIMO DE TPP EN UN DETERGENTE.....	76
10. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	78
10.1 DETERMINACIÓN DE TPP EN LOS DETERGENTES.....	78
10.1.1 Hidrolización del Fósforo.....	78
10.1.2 Interferencias en los ensayos de determinación de Fósforo en el laboratorio.....	78
10.1.3 Comparación de resultados en las muestras de detergentes.....	80
10.2 RESULTADOS DE SAAM EN LAS MUESTRAS DE DETERGENTES.....	83
10.3 RELACIÓN DE LOS DATOS DE CARGA DE FÓSFORO EN LOS DETERGENTES Y EN EL RÍO BOGOTÁ.....	85
10.4 RECOMENDACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA DE TPP EN LOS DETERGENTES.....	86
11. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	88
12. REFERENCIAS.....	90
ANEXOS.....	96

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Porcentaje de componentes en un detergente.....	19
Tabla 2. Nutrientes necesarios para el Fitoplanctum.....	26
Tabla 3. Mercado de detergentes en Colombia.....	34
Tabla 4. Composición de las principales marcas de detergentes en polvo vendidos en el país.....	35
Tabla 5. Clasificación del agua según su dureza.....	37
Tabla 6. División de puntos de medición.....	39
Tabla 7. Análisis estadístico de los datos de dureza total.....	44
Tabla 8. Análisis estadístico de los datos de dureza cálcica.....	46
Tabla 9. Carga de fósforo total sobre la cuenca media del Río Bogotá.....	49
Tabla 10. Análisis estadístico de los resultados de la carga de fósforo total cuenca media del Río Bogotá.....	51
Tabla 11. Descargas de fósforo total en la cuenca media del Río Bogotá.....	52
Tabla 12. Análisis estadístico de las descargas de fósforo en la cuenca media del Río Bogotá.....	54
Tabla 13. Iones que no interfieren a concentraciones menores de 1000 mg/L.....	58
Tabla 14. Límites de tolerancia para aniones en la determinación de Fosfatos....	58
Tabla 15. Rangos de fósforo a diferentes longitudes de onda.....	59
Tabla 16. Resultados de ensayos de hidrolización de detergentes.....	64
Tabla 17. Resultados de ensayos con antiespumante.....	64
Tabla 18. Resultados de laboratorio para fósforo en los detergentes.....	67
Tabla 19. Resultados calculados de fósforo en los detergentes.....	69
Tabla 20. Resumen de resultados de fósforo en los detergentes.....	69
Tabla 21. Aporte del Fósforo de los detergentes al Río Bogotá.....	71
Tabla 22. Resultados de laboratorio de SAAM en los detergentes.....	72
Tabla 23. Resultados calculados para SAAM en los detergentes.....	74
Tabla 24. Concentración de Ca ⁺⁺ y pCa para el agua potable de Bogotá.....	76

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. *Proceso de detergencia*.....15

Figura 2. *Estructuras moleculares de los polifosfatos*..... 20

Figura 3. *Mapa de zonas y puntos de medición*.....39

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1. <i>Productos para lavar ropa empleados en el proceso en lavadora.....</i>	32
Gráfica 2. <i>Promedio Mensual de dureza total planta el Dorado.....</i>	40
Gráfica 3. <i>Promedio Mensual de dureza total planta Tibitoc.....</i>	41
Gráfica 4. <i>Promedio Mensual de dureza total planta Wiesner.....</i>	42
Gráfica 5. <i>Promedio Mensual de dureza cálcica planta el Dorado.....</i>	45
Gráfica 6. <i>Promedio Mensual de dureza cálcica planta Tibitoc.....</i>	45
Gráfica 7. <i>Promedio Mensual de dureza cálcica planta Wiesner.....</i>	46
Gráfica 8. <i>Estimación Promedio de la carga de fósforo total en el Río Bogotá.....</i>	49
Gráfica 9. <i>Estimación Promedio de las descargas fósforo total en el Río Bogotá.....</i>	53
Gráfica 10. <i>Curva de calibración de fósforo por el método Mohrig.....</i>	65
Gráfica 11. <i>Curva de calibración de fósforo por Estándar Métodos.....</i>	66
Gráfica 12. <i>Comparación de porcentaje de Fósforo en las muestras de detergentes.....</i>	70
Gráfica 13. <i>Carga de P en los detergentes.....</i>	70
Gráfica 14. <i>Curva de calibración de SAAM.....</i>	72
Gráfica 15. <i>Porcentaje promedio de SAAM en las muestras de detergentes.....</i>	74
Gráfica 16. <i>Porcentaje de eficiencia de un detergente y dureza cálcica.....</i>	70

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. <i>Sistemas de distribución de agua potable en Bogotá</i>	96
Anexo 2. <i>Datos de dureza del Agua de Bogotá</i>	98
Anexo 3. <i>Localización de los puntos de Aforo y Muestreo de la Cuenca Media del Río Bogotá</i>	99
Anexo 4. <i>Datos de fósforo en el Río Bogotá</i>	100
Anexo 5. <i>Procedimiento del método de ácido vanomolibdofósforico según Mohrig</i>	101
Anexo 6. <i>Procedimiento del método de ácido vanomolibdofósforico según Método Estándar</i>	103
Anexo 7. <i>Procedimiento de la metodología del Método Estándar para la determinación de sustancias activas al azul de metileno (SAAM)</i>	104
Anexo 8. <i>Datos obtenidos de P y TPP en detergentes por el método de Mohrig y Standar Methods</i>	106

RESUMEN

El Objetivo de este proyecto es evaluar el impacto que tiene los detergentes en polvo con contenido de fósforo en los cuerpos de agua en Bogotá.

Para poder alcanzar el objetivo se cuantificó el fósforo en ciertas muestras de detergentes. Se estimaron las cargas de fósforo que recibe el Río Bogotá al pasar por la ciudad, y se cuantificó el aporte de fósforo al río por parte de los detergentes en polvo. A partir de la dureza total del agua potable de Bogotá se estimó el TPP óptimo en los detergentes para su funcionamiento en las aguas de la ciudad.

De los análisis realizados se concluye que la carga de fósforo por parte de los detergentes en polvo al río Bogotá, ocupa un bajo porcentaje, 16% sobre el fósforo total que llega al río por las descargas hechas en la ciudad.

En los detergentes en polvo no solo se utiliza TPP como reforzador, también se utilizan otros compuestos, que actúan como co-reforzadores, ayudando a que los aportes de fósforo al río Bogotá no sean tan altos.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 ASPECTOS GENERALES Y JUSTIFICACIÓN

En Bogotá D.C. la eutroficación ha sido uno de los problemas ecológicos con los que se ha tenido que lidiar en los últimos años. Se ha estimado que el embalse de Muña, laguna creada como sistema de alimentación del Río Bogotá para la generación de energía eléctrica, se encuentra cubierta con varias toneladas de plantas (Rincón, 2005). Esto es producto de la eutroficación en el cuerpo de agua, que genera problemas de salud pública, como aumento en el costo de generación de la energía hidroeléctrica y el tratamiento del agua.

El fósforo es uno de los nutrientes principales que se encuentran en el Río Bogotá, su presencia es causante de la eutroficación de los cuerpos de agua (United Nations, 1992).

Un aporte significativo de fósforo al Río Bogotá son los detergentes, ya que contiene compuestos a base de fósforo. Estos compuestos son conocidos como reforzadores. Usualmente en los detergentes en polvo se utiliza el tripolisfosfato pentasódico (TPP).

Los reforzadores tienen la función en el detergente de mitigar el efecto que tiene los iones de calcio y magnesio presentes en el agua que interfieren en el lavado.

Actualmente en Bogotá no se cuenta con una cuantificación de lo que aportan de fósforo los detergentes, que son descargadas al río por su paso por la ciudad, pero se cree que tiene un contribución significativa.

En este trabajo se cuantificará el fósforo que aportan los detergentes al principal cuerpo de agua de la ciudad, el Río Bogotá, de tal manera que a partir de los

resultados se pueda estudiar alternativas no estructurales que mitiguen los efectos de los detergentes al Río como la de reformulación de detergentes.

2. OBJETIVOS

Los objetivos del presente proyecto son:

- Estimar el contenido de TPP de diferentes muestras de detergentes en polvo que se comercializan en Bogotá D.C, a través de una metodología estudiada.
- Estimar las cargas de fósforo en diferentes puntos del río Bogotá, con mediciones directas de la concentración.
- Cuantificar la cantidad de fósforo que llega al río Bogotá por el uso de detergentes en polvo con contenido de TPP, y compararla con concentraciones ya medidas en el río
- Calificar la dureza del agua de Bogotá con datos medidos en un intervalo de tiempo en diferentes barrios de la ciudad.
- Relacionar la dureza del agua potable de la ciudad de Bogotá con porcentaje de eficiencia en los detergentes para el agua de Bogotá

3. METODOLOGÍA

El desarrollo de este trabajo se divide en dos partes, una parte de revisión bibliográfica y otra de análisis experimental.

En la primera parte se realizó una revisión bibliográfica de la composición de los detergentes en polvo, especialmente de los reforzadores y sus sustitutos, de tal manera que a partir de la información encontrada sirviera de ayuda a la metodología realizada en el laboratorio.

En Bogotá, zona de estudio, se analizaron datos de consumo y composición de los detergentes para escoger las muestras con las cuales se iba a hacer los ensayos; también se revisaron y analizaron los datos de dureza total y cálcica en la ciudad y la cuantificación de fósforo en el río Bogotá.

A partir de la revisión bibliográfica se desarrolló la segunda parte; en la cual se hicieron los análisis de laboratorio, que determinaron, tanto el porcentaje de Fósforo como de TPP y de sustancias activas de azul de metileno (SAAM) en las muestras de detergentes. A partir de los resultados experimentales y la información encontrada en la revisión bibliográfica se cuantificó el aporte de fósforo al Río Bogotá por parte de los detergentes en Bogotá y se calculó la dosis óptima de TPP en los detergentes.

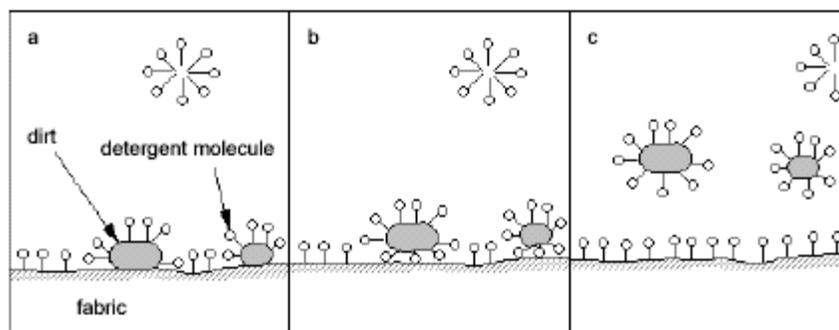
4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

4.1 COMPOSICIÓN DE LOS DETERGENTES SINTÉTICOS

Un detergente sintético es un compuesto producido por síntesis química que toma parte en un proceso de lavado (United Nations). La molécula del detergente está compuesta de una parte polar (hidrófila), con afinidad a los dipolos del agua, y otra parte no polar (hidrofóbica), con afinidad al aceite y las grasas. Esto hace que el detergente tenga un comportamiento dual en el agua (Barrera, 1998).

Al entrar en contacto con el agua, las moléculas del detergente se congregan en grupos esféricos llamados micelas. La parte polar de la molécula del detergente en el agua forma un grupo; la parte no polar en las grasas forma otro (Pillay, 1995) disolviendo la suciedad (ver figura 1). Esto causa una reducción de la tensión superficial, que combinada con la acción mecánica del lavado hace que la suciedad sea removida fácilmente (Pillay).

Figura 1. Proceso de detergencia



Fuente: Pillay, 1995

Los detergentes sintéticos están constituidos de sustancias que tienen propiedades físico-químicas que le confieren al detergente un mejor lavado y

facilitan su fabricación. Los principales compuestos de los detergentes son los aditivos, agentes secuestrantes o reforzadores, tensioactivos o surfactantes, agentes blanqueadores y agentes antiredepositantes.

- Los aditivos son productos agregados al detergente que mejoran su desempeño, al contribuir a su efectividad o suministrar una función especializada; por ejemplo las enzimas, que actúan como agentes limpiadores. Las enzimas más usadas son: proteasas que actúan sobre las manchas proteínicas (sangre, leche, huevo) y se incluyen en casi todos los detergentes; las amilasas que actúan sobre las manchas de almidón; lipasas sobre las manchas grasas y celulasas que intervienen en las fibras de algodón.

Otra clase de aditivos usados son: el relleno o carga que ayuda a agrandar el producto; perfumes y colorantes que dan mejor presencia al detergente y compuestos que facilitan un mejor manejo al detergente al evitar que se apelmace, como el Sulfato de Sodio.

- El agente tensioactivo, surfactante o agente de limpieza (surface-active-agent, surfactant) es un compuesto orgánico que reduce la tensión superficial del agua, o la tensión interfacial entre dos líquidos o la tensión entre un líquido y un sólido (NTC 545), para poder remover la suciedad. El surfactante está constituido por dos grupos: un grupo o radical de moléculas que tiende a hacerlo soluble en agua (hidrófilo); otro grupo de moléculas que tiende a hacerlo insoluble en agua (hidrofóbico) (NTC 545). Los tensioactivos le proporcionan al detergente propiedades de espumabilidad, emulsificación, detergencia y suspensión de partículas (Standar Methods, 1998).

Los agentes tensioactivos se pueden clasificar químicamente en catiónicos, aniónicos, anfotéricos y no iónicos; Los tensoactivos catiónicos se

producen a partir de la reacción de productos de alcoholes con óxido de etileno, formando alcohol etoxilato (United Nations). Se caracterizan por su alto poder de desinfección. Los tensoactivos aniónicos están conformados por una cadena de Alquilbenzeno sulfanatos y alquil sulfatos (United Nations).

Los tensoactivos anfotéricos son compuestos químicos capaces de producir iones cargados positivamente o negativamente en una solución acuosa (NTC 845); son usados generalmente en champús y cremas para aplicar sobre la piel. Los tensoactivos no-iónicos se caracterizan por no formar mucha espuma, y son usados en detergentes para lavar loza.

Usualmente los detergentes en polvo utilizan tensoactivos aniónicos. El principal agente tensoactivo aniónico que se usa en los detergentes en polvo es un derivado del alquilbencensulfonato: el dodecilbencensulfonato de sodio ($C_{12}H_{25}-C_6H_4-SO_3Na$) (Tamayo & Lopeli). Este compuesto se caracteriza por desionizarse en solución y conferirle una carga negativa al tensoactivo y tener baja eficiencia en aguas duras al formar los precipitados con el Ca y Mg. Frecuentemente es usado en detergentes domésticos (United Nations).

- Reforzador o ablandador de agua: usualmente una sal inorgánica, es el material que adicionado a la formulación del detergentes sintéticos aumenta o mantiene la limpieza producida por el detergente, al unirse con los iones de calcio y otras sales que interfieren con esta propiedad (United Nations). El reforzador es el segundo componente más importante en la formulación de detergente (Universidad Vasco, s.f).
- Agente antiredepositante (Carboximetil celulosa) es utilizado para evitar que la suciedad se resuspenda en la ropa en el momento del lavado. El 1% de

la materia activa del detergente se compone de estos agentes (United Nations).

- Abrillantadores ópticos o agentes blanqueadores fluorescentes: están formados por complejos de moléculas orgánicas que se adhieren a los tejidos. La energía ultravioleta (UV) se absorbe, se convierte y se emite como luz visible para lograr en la tela una apariencia determinada y mantener una blancura o brillo (NTC 545).
- Controlador de espuma: previene la excesiva espuma de las maquinas de lavado, que produce efectos adversos en éstas (United Nations).
- Agentes blanqueadores son utilizados para que eliminen las manchas persistentes y devuelvan la blancura a la ropa. Los agentes más comunes son perborato de sodio (NaB_2O_4) y el percarbonato de sodio ($2\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) (United Nations) que actúan como agentes desprendedores de oxígeno, blanqueando las manchas oxidables, como el café, la fruta o el vino.
- Suavizante de tela: producto auxiliar del lavado o ingrediente del detergente de lavado cuya función primaria es la de dar a la tela una sensación de suavidad, la impresión de una superficie lisa, o reducir la electricidad estática (NTC 545).

El porcentaje de los componentes de un detergente con Fosfatos y sin Fosfatos se puede observar en la siguiente tabla:

Tabla 1. Porcentaje de componentes en un detergente

&	P-base	P-libre
TPP	20-25	0
Zeolitas	0	25
Policarboxilatos(PCAs)	0	4
Fosfonatos organicos	0-0,2	0,4
Silicate de sodio	6	4
Carbonato de Sodio	5	15
Surfactantes	12	15
Perborato de sodio	14	18
Activador	0-2	2,5
Sulfato de sodio	1-24	9
Enzimas	1	0,5
Agentes de de antiredeposiciòn	0,2	1
Agentes blanqueadores	0,2	0,2
Perfume	10	0,2
Aqua		5

Fuente: Centre de Eurpeen d'Estudes des Polyphosphates (CEEP), 2003

4.1.1 Reforzadores

Los reforzadores han sido utilizados desde hace varias décadas en la formulación de los detergentes, al conseguir mejorar las condiciones deterativas de éstos. El reforzador aumenta o mantiene la eficiencia del agente tensioactivo.

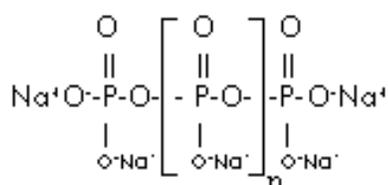
La función principal de los reforzadores es la de inactivar sales minerales disueltas, usualmente Calcio (Ca) y magnesio (Mg), presentes en el agua potable y que interfieren en el funcionamiento de estos. Estos cationes multivalentes, presentes en algunas ocasiones en la suciedad de la ropa, son perjudiciales en el lavado ya que forman precipitados con tensioactivos, depositándose generalmente en el fondo de las lavadoras o adhiriéndose a las telas. Los precipitados formados hacen que se requiera una mayor demanda de detergente (Barrera, 1998).

Los reforzadores, aparte de inactivar la dureza del agua, evitan que la suciedad vuelva a los tejidos, ayudan a controlar el pH en el lavado (Pillay), facilitan la solubilización de los componentes de los detergentes, crean y estabilizan la alcalinidad para mantener condiciones óptimas en la remoción de sólidos,

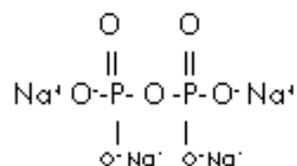
emulsifican la mugre aceitosa (NTC 545) y proporcionan la forma física del detergente para su almacenamiento y manipulación (Universidad Vasco).

Los reforzadores más utilizados en los detergentes son a base de fósforo, ya que proporciona múltiples beneficios en el producto, representando un porcentaje alto del contenido en el detergente. En la figura 2 se puede observar las diferentes estructuras moleculares de los reforzadores más comunes.

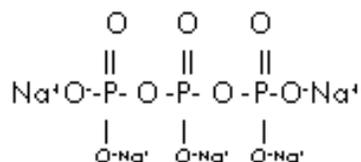
Figura 2. Estructuras moleculares de los polifosfatos



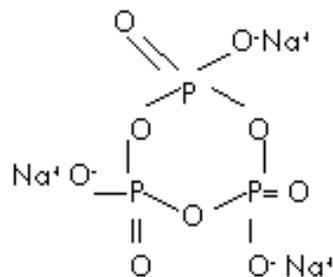
POLIFOSFATO DE SODIO



PIROFOSFATO DE SODIO



TRIPOLIFOSFATO DE SODIO



TRIMETAFOSFATO DE SODIO

Fuente: CEPIS, s.f.

En detergentes en polvo se utiliza el trifosfato de pentasodio o de sodio ($\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$), llamado comúnmente tripolisfosfato pentasódico (TPP). Éste compuesto tiene una gran afinidad por los cationes polivalentes (Barrera); y le proporciona al detergente una mayor eficiencia en el momento de su fabricación como en el lavado. En detergentes líquidos se utiliza el pirofosfato tetrasódico ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$) o de potasio ($\text{K}_5\text{O}_{10}\text{P}_3$), porque se hidroliza al ion fosfato (PO_4^{3-}) más lentamente que el tripolisfosfato de sodio (Tamayo & Lopeli, s.f.).

Los reforzadores inactivan la dureza del agua removida a través de tres mecanismos: precipitación, cambio iónico y formación de compuestos solubles (United Nations).

- **Precipitación:** los reforzadores que utilizan este mecanismo remueven la dureza del agua a través de una reacción química irreversible en donde se forman productos precipitables o sustancias insolubles. Los reforzadores precipitantes más comunes son carbonato de sodio y el carbonato de silicato.
- **Intercambio iónico:** a través de este mecanismo los reforzadores tienen como función reemplazar los iones de Ca y Mg con otro catión, sodio, que no produzca dureza. El reforzador más común en este mecanismo es la zeolita.
- **Inactivación:** los reforzadores que utilizan este proceso son los polifosfatos; no forman compuestos insolubles que se depositan en la ropa (Universidad Vasco), cuya función es desactivar la dureza del agua. En esta categoría se encuentra el TPP.

4.2 ANTECEDENTES DEL USO DEL TPP

El TPP ha sido utilizado después de que los surfactantes sintéticos fueran introducidos en el mercado (Saskatchewan Institute of Pedology, 1989). Los surfactantes tradicionales utilizados eran los ácidos grasos contenidos en el jabón, que no solo servían como surfactantes naturales, sino que también eran utilizados para eliminar los iones de Ca y Mg presentes en el agua, en la suciedad y las telas (Saskatchewan Institute of Pedology). El problema del jabón era que no actuaba en las aguas duras.

Los surfactantes se crearon como solución al conflicto que se tenía con la industria de alimentos, por el limitado suministro de grasas y aceites naturales (Knud, 1994) para la fabricación de los jabones. Esto impulsó a desarrollar los detergentes sintéticos. Inicialmente su uso estaba limitado para los procesos industriales (Saskatchewan Institute of Pedology).

En Europa y posteriormente en U. S .A. los detergentes sintéticos reemplazaron los jabones, y empezaron a invadir los mercados debido a sus considerables ventajas. El problema de los detergentes creados era su baja eficiencia para aguas muy duras (Saskatchewan Institute of Pedology), lo cual llevo a crear un componente que ayudara al detergente a ser más eficiente.

A finales de la década de los 40 del siglo XX, en U.S.A. y posteriormente Europa, se empezó a utilizar el TPP en los detergentes sintéticos (Knud). La demanda de estos detergentes crecía a medida que las maquinas de lavado invadían los mercados.

Los detergentes sintéticos eran semejantes a los jabones, ya que en su molécula tenían un extremo iónico soluble en agua y otro extremo no polar que desplazaba a los aceites. Pero, los detergentes con reforzadores, ya tenían la ventaja de servir para aguas duras.

Para la década de los 60, las organizaciones ambientalistas de U.S.A. prendieron la alarma al observar cuerpos de agua eutroficados; especialmente en los grandes lagos (Knud). La descarga de los fosfatos de los detergentes (TPP) fue la principal responsable de este fenómeno. La legislación empezó a prohibir y limitar el uso de TPP en algunos países a comienzo de la década de los 70. Países tales como, Suiza, Noruega, Venezuela y algunos estados de U.S.A (Indiana, Michigan Minnessota, New York, Vermont, Wisconsin, Maryland, Virginia, North Carolina,

Chicago y Washington D.C), prohibieron el uso de TPP en los detergentes. Para otros países, la legislación solo limitó el uso de este compuesto; Canadá al 2.2% P, Finlandia al 7% P, Alemania 5% (aproximadamente), Austria 5% P (aproximadamente), Japón 2.5 %, Finlandia y algunos estados de U.S.A al 8.7% (Maine, Connecticut y Florida); en otros países, el uso de TPP en los detergentes en su fabricación se reduciría voluntariamente: Francia al 5% P, y los Países Bajos al 7.5% P (United Nations). El TPP se reemplazó por zeolitas y otras alternativas que se estudiarán más adelante.

En algunos países no solo se limitó el uso del TPP, sino también de sus sustitutos. En Italia las sales sódicas del ácido nitrilo acético (NTA) no eran permitidas para ser utilizadas en detergentes. En Alemania y Países Bajos el uso de NTA era limitado (United Nations).

4.3 TRIPOLIFOSFATO PENTASODICO (TPP)

El TPP es una forma de fósforo inorgánico, producido a partir del ácido fosfórico; está conformado por tres cadenas de fosfatos y cinco cargas negativas (Ver figura 2); lo cual le confiere una alta afinidad por los iones metálicos cargados positivamente, formando complejos aniónicos con los cationes multivalentes (Ca y Mg). El TPP está compuesto por el ion trifosfato ($(O_3P-O-PO_2-O-PO_3)^{5-}$), que como anteriormente se dijo, forma complejos solubles con los iones de calcio, hierro, magnesio y manganeso; quitando las manchas que éstos ocasionan en la ropa ayudando a mantener en suspensión las partículas de mugre, de manera que puedan ser eliminadas fácilmente en el lavado (Tamayo & Lopeli).

4.3.1 Ventajas del TPP

El Tripolifosfato Pentasódico (TPP) es utilizado como reforzador debido a que no es tóxico, su bajo costo y las propiedades que le confiere al detergente.

Según United Nations, el TPP se caracteriza por lo siguiente:

- Es eficiente en el arrastre de iones de calcio y magnesio presentes en la dureza del agua y la suciedad, formando compuestos solubles con los iones.
- Previene la resuspensión de la suciedad e incrustaciones sobre las telas.
- Desintegra las incrustaciones de la suciedad sobre los tejidos de la ropa y las lavadoras.
- Posee poder de solubilización de sales retenidas por la suciedad de las telas.
- Mantiene una alcalinidad óptima para obtener un nivel efectivo de limpieza.
- Se estabiliza químicamente durante su almacenamiento.
- Protege las lavadoras de la corrosión.
- Facilita la solubilización del detergente y la obtención de óptimas condiciones de lavado.
- Ayuda a emulsificar las grasas presentes en la ropa.
- Es compatible con otros compuestos del detergente.
- Ayuda a conservar las propiedades físicas del detergente.
- Ayuda a acelerar el proceso de lavado.

4.3.2 Desventajas del TPP

Aunque el TPP proporciona ventajas sobre el detergente, también presenta desventajas técnicas y ecológicas.

El problema técnico del TPP, es la característica que tiene a descomponerse hidrolíticamente en ortofosfato mono y difosfato, durante la fabricación del detergente (United Nations). Según una investigación realizada por la Universidad del País Vasco, el TPP puede llegar a hidrolizarse en la fabricación del detergente. Se puede controlar teniendo en cuenta la calidad de las instalaciones técnicas de

atomización y de la formulación final del detergente al que se quiere llegar (Universidad Vasco).

El TPP no solo se puede hidrolizar en el momento de la fabricación del detergente, sino que puede llegar rápidamente a perder sus propiedades en el momento del lavado, como todos los polifosfatos, al ser expuesto a temperaturas iguales o mayores a 100°C. En el medio ambiente, el fósforo inorgánico puede ser degradado biológicamente o hidrolizado a ortofosfatos y ser asimilado por algas y microorganismos.

Existen tres mecanismos de hidrolización del TPP. El primero es la actividad microbiana (HERA, s.f); los tripolifosfatos son hidrolizados en un periodo de varios días por microorganismos presentes en el agua. El segundo es la hidrolización en el proceso de lavado; el TPP puede hidrolizarse de 0% a 30% (HERA), en fosfatos más simples que no retienen secuestrado el átomo metálico y estos llegan hidrolizados a los vertimientos de aguas residuales domésticas. (United Nations). El último mecanismo es la permanencia en las aguas residuales; el TPP se hidroliza aproximadamente un 80 % en 40 horas (HERA).

En cuanto a los problemas ecológicos, al TPP se le atribuye el problema de eutroficación de las aguas (UNESCO, 1995). La principal fuente de nutrientes, especialmente el fósforo, en los cuerpos de agua son las aguas residuales domésticas; básicamente por los residuos del lavado al usar detergentes con contenido de polifosfatos.

Para el crecimiento de las algas son esenciales 20 nutrientes (Pillay), entre los que se encuentran iones orgánicos como el calcio, el magnesio, el sodio y los sulfatos que se presentan en altas concentraciones en las aguas residuales. Elementos como el nitrógeno y el fósforo, aparecen en los cuerpos de agua en bajas concentraciones, haciendo que las algas lo usen primero y muchas veces

requieran más de lo que se encuentra en el medio; por lo cual se les conoce como nutrientes limitantes. En la tabla 2 se puede observar los porcentajes necesarios para el desarrollo de fitoplancton (organismos microscópicos de origen vegetal que viven suspendidos en cuerpos de agua).

Tabla 2. Composición del Fitoplancton

Nutriente	%
P	1
N	7,2
C	40
Otros	51,6

Fuente: Camacho, 2005.

En la tabla 2 se puede observar que el nitrógeno se encuentra en mayores concentraciones que el fósforo. En ambientes marinos, el nitrógeno llega a ser el nutriente limitante (United Nations). El nitrógeno es suministrado por el lavado de cultivos agrícolas y la escorrentía, entre otros. El fósforo es suministrado principalmente por fuentes antropogénicas, especialmente el uso de detergentes.

El fósforo se remueve de las aguas residuales para controlar la eutrofización en los cuerpos de agua, ya que puede llegar a ser más fácil de remover que los otros nutrientes (United Nations) al estar en menor concentración.

La principal consecuencia de la eutrofización es el excesivo crecimiento de plantas acuáticas tales como las algas o macrofitas (United Nations), que impiden el intercambio de oxígeno con la atmósfera y la penetración de la luz del sol, formándose un ecosistema ideal para la proliferación de zancudos y moscas y la producción de gases como Ácido Sulfhídrico (SH_2) y Amoniaco (NH_3), entre otros.

Las algas verde-azules o cianobacterias, son las que más se producen en un cuerpo de agua eutrofizado, ya que tienen una estructura celular similar a las bacterias, y forman largas cadenas de colonias (Pillay). El excesivo crecimiento

de algas interfiere en el uso de las fuentes de agua, genera cambios físicos, químicos y biológicos en los cuerpos de aguas eutroficados y según Tamayo y Lomelí, los cambios más significativos son:

Cambios Biológicos

- En los cuerpos de agua crecen considerablemente los organismos productores, como las algas verdeazules, mientras otros tipos de especies desaparecen; los organismos consumidores no alcanzan a eliminar ni a controlar la explosión de los productores.
- Aumenta la actividad bacteriana.
- La vida animal acuática desaparece; se produce amoníaco, un gas tóxico para los peces (Barrera).

Cambios físicos

- Los restos de plantas y animales muertos se acumulan en el lecho de los cuerpos de agua, frenando la circulación de ésta.
- El agua se torna parda y presenta problemas de olor por la presencia de las algas y la descomposición anaerobia de la materia orgánica.

Cambios químicos

- La concentración de compuestos nitrogenados y fosfatados se incrementa, así como otros elementos químicos.
- El pH se eleva como consecuencia de la absorción de gas carbónico en la fotosíntesis de las algas.
- El nitrógeno amoniacal se convierte en amoníaco, como consecuencia del incremento del pH.
- El oxígeno disuelto puede disminuir, alrededor de 8 ó 4 mg/L lo cual afecta negativamente y de inmediato a los organismos, ya que el exceso de fósforo favorece el crecimiento de bacterias que incrementan la demanda bioquímica de oxígeno.

Según Pillay estos cambios generan:

- Problemas de olor y sabor en los cuerpos de agua.
- Problemas de estética, ya que los aceites sintetizados por las algas como reserva de energía son liberados a su muerte; formándose una nata aceitosa en la superficie del agua, debido a la diferencias de densidades (Barrera).
- Alteraciones en el color del agua; el exceso de algas impide el paso de la luz al fondo del cuerpo de agua.
- Algunas algas son capaces de producir toxinas perjudiciales para el ser humano y otros seres vivos.
- La excesiva demanda de oxígeno de las algas muertas puede llevar a la mortalidad de la vida acuática presente en el cuerpo del agua.
- La baja presencia de oxígeno lleva a reducir especies electroquímicas como el hierro y magnesio en el agua, incrementando el costo del tratamiento.

4.4 SUSTITUTOS DEL TPP

Debido a las desventajas que ha presentado el TPP, se han buscado sustitutos que cumplan la misma función del TPP, pero que ayuden a reducir la eutroficación en los cuerpos de agua (United Nations). Sin embargo no se ha llegado a encontrar uno que presente todas las ventajas del TPP en el detergente. Esto ha llevado a la reformulación de los detergentes, ya que algunos sustitutos necesitan de otros reforzadores. Las características que deben tener los reforzadores, según la CEPIS son:

- Estabilidad química en condiciones oxidantes y reductoras.
- Estabilidad química a pH 4-14 de 25 a 100 °C.

- Buena solubilidad en presencia de altas concentraciones de sales.
- Capacidad de secuestrar iones de Ca, Mg, Fe.
- Mínima toxicidad con humanos, plantas y animales.
- Ninguna acción inhibitoria en los sistemas de tratamiento de efluentes.
- Alta degradabilidad.

Los principales sustitutos utilizados de los polifosfatos en los detergentes son:

- Zeolita sintética Tipo A ó aluminosilicato sódico: se utiliza como reforzador de intercambio iónico. La zeolita es un mineral derivado de la arcilla e insoluble en agua, que la ablanda sin causar la reducción de oxígeno en ella. En comparación con el TPP la zeolita presenta varias ventajas como la capacidad de intercambio iónico con el calcio; es más eficiente en arrancar los iones de calcio del agua y proporciona una fase heterogénea en el sistema de lavado, creando una barrera para que se presenten incrustaciones. Las desventajas que presenta la zeolita son su insolubilidad en el agua, su baja capacidad de arrastre para los iones de Mg y su necesidad de disolución de los iones metálicos para que ocurra el intercambio iónico. La zeolita se utiliza junto con otros reforzadores tales como NTA, policarboxilatos, carbonatos y citratos (United Nations) con el fin de que estos atrapen los iones metálicos presentes en la suciedad.
- Sales sódicas de ácidos hidroxicarboxílicos: se caracterizan por su alto poder secuestrante, pero debido a su alto precio no son de uso frecuente (Universidad Vasco).
- Silicato de sodio: es utilizado en bajas concentraciones en la formulación de los detergentes de lavadora para controlar la corrosión y la capacidad buffer (Pillay). En altas concentraciones, el silicato es utilizado como reforzador; se caracteriza por no tener efectos sobre aguas blandas.

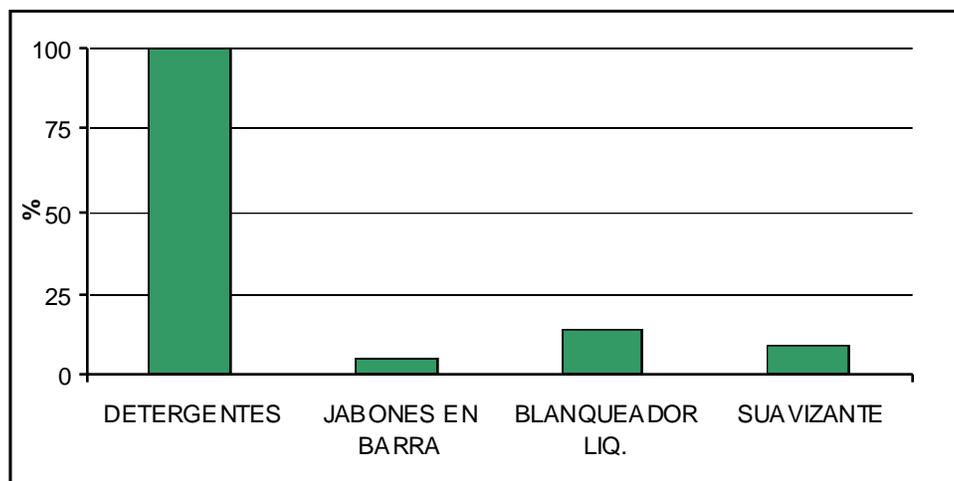
- Sales sódicas del ácido nitrilo acético, NTA: presentan un mayor poder de arrastre de los iones de calcio que el TPP. Su principal desventaja es que aumentan la toxicidad del agua al solubilizar los cationes metálicos pesados; son poco biodegradables.
- Sales sódicas del ácido cítrico, CT-Na: este compuesto se caracteriza por formar complejos solubles con los iones de Ca y Mg; es químicamente compatible con otros ingredientes de los detergentes; se solubiliza en el agua; no es tóxico y es altamente biodegradable. Las desventajas que presenta el ácido cítrico son su alto costo, y su ineficiencia a altas temperaturas.
- Carbonato sódico: precipita los iones de Ca y Mg, eliminando la dureza del agua y creando incrustaciones en la ropa, ya que los precipitados formados se adhieren al lavado. El carbonato sódico presenta problemas al tener alto poder corrosivo y alto pH, dañando las máquinas lavadoras y siendo inapropiado para el uso en detergentes de ropa y lavaplatos.
- Ácido carboxílico o policarboxilato: este compuesto es recientemente usado como co-reforzador; su principal función es dispersar y precipitar la suciedad que se deposita en el fondo de las máquinas del lavado y/o se adhiere a las telas del lavado. El policarboxilato se utiliza en el momento de la fabricación del detergente para homogenizarlo y estabilizarlo; presenta una baja biodegradabilidad (Pillay).
- Citratos de sodio: los citratos son altamente efectivos en inactivar los iones de magnesio y de calcio, y son usados generalmente para jabones líquidos como sustituto del TPP (Pillay). Las ventajas de su utilización es que no tienen efectos de eutrofización, y no son bioacumulables (United Nations).

- **Ácido EtilenDiamino TetraAcético (EDTA):** se presenta como sales sódicas (United Nations). En concentraciones bajas es utilizado en los detergentes para controlar los niveles de iones metálicos en el agua e incrementa la eficiencia de la remoción del color en las telas. No es usual utilizarlo como sustituto del TPP porque es muy costoso (United Nations). Su poder secuestrante óptimo se encuentra entre los pH 10 y 13. Tiene un efecto sinérgico sobre los tensioactivos, tanto en aguas blandas como duras, y es capaz de estabilizar a los silicatos que se utilizan en los detergentes para mantener el pH cuando se presenta suciedad ácida (United Nations).

5. MERCADO DE DETERGENTES EN BOGOTÁ

Según la Superintendencia de Industria y Comercio, en Colombia, el lavado de ropa se puede dividir en dos segmentos: a mano y en lavadora. En ambos segmentos el uso de detergentes en barra y en polvo es importante; sin embargo es más usual éste último para el lavado en lavadora. (Resolución 28037 de 2004, Ministerio de Desarrollo, Industria y Comercio), como se puede observar en la gráfica 1.

Gráfica 1. Productos para lavar ropa empleados en el proceso en lavadora



Fuente: Resolución 28037 de 12 de Noviembre de 2004, Ministerio de Desarrollo, Industria y Comercio.

El uso del jabón es marginal en el lavado con lavadora, ya que los consumidores buscan en un detergente características tales como, espumación, facilidad de sacar la espuma y cuidado de la lavadora, las cuales no pueden ser brindadas por los jabones en barra (gráfica 1) (Resolución 28037).

En el lavado de ropa en lavadora los consumidores prefieren el detergente en polvo frente al detergente líquido. Según la resolución 28037 de 2004, de las personas que afirman tener lavadora, solo el 4% utiliza detergente líquido; el resto utilizan detergentes en polvo, lo cual demuestra que el uso de detergente en polvo abarca un gran volumen en el mercado de los detergentes en Colombia; posiblemente porque es más económico.

De acuerdo con el informe de AcNielsen bimensual de comportamiento del mercado de detergentes en Bogotá entre Junio y Julio de 2005, el 2.4% de detergentes líquidos corresponde al mercado total de detergentes; el resto es abarcado por los detergentes en polvo. Solo en Bogotá se consume anualmente 26,000 toneladas (Ton) de detergente, de los cuales 25,376 Ton son en detergente en polvo. Es importante recalcar que el consumo de detergentes en polvo en Colombia ha venido aumentando, debido a la tendencia creciente en incidencia de lavadoras en hogares (Resolución 28037).

En Colombia, los consumidores de detergente en polvo no solo emplean el detergente para el lavado de ropa, sino también para labores de aseo en el hogar tales como lavado de loza y pisos de baño, entre otros; pero su principal uso como se dijo anteriormente es el lavado de ropa.

Las marcas de detergentes en polvo más vendidas y su participación de mercado en Colombia para el mes de Junio y Julio de 2005 se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 3. Mercado de detergentes en Colombia

Marca	% Participación del mercado	Ton/año
1	28.5	7410
2	25.9	6734
3	15.8	4108
4	7.9	2054
5	5.1	1326
6	3.8	988
7	3.3	858
8	2	520
9	0.5	130
Otros marcas	4.8	1248
Detergentes líquidos	2.4	624
	100	26000

Fuente: A Nielsen, 2005

Los componentes de los detergentes más vendidos en Colombia se pueden observar en la siguiente tabla, y se tomaron del respaldo de la bolsa de empaque de cada detergente encontradas en almacenes de cadena en Bogotá. No se encontró detergentes de marca 8 y 10; por lo tanto su composición no aparece en la tabla 4.

Tabla 4. Composición de las principales marcas de detergentes en polvo vendidas en el país

Marca	Composición
1	Ayuda de proceso, ablandador de agua, agente de limpieza, dodecilbenceno sulfonato de sodio, intensificadores de limpieza, agente antiredepositante, perfume, enzimas, abrillantadores ópticos, supresor de espuma y colorantes
2	Abrillantadores ópticos, tensoactivo aniónico, tensoactivo catiónico, fosfatos, carbonatos, perfume, silicatos, poliacrilatos
3	Alquilaril Sulfonato de Sodio, Fosfato de Sodio, Silicato de Sodio, Carboximetil celulosa, colorante, blanqueador óptico y perfume
4	Aditivos de procesos (Sulfato de sodio), ablandador de agua (fosfatos de sodio), tensoactivos (Alquil aril sulfonato de sodio), aditivos biológicos (enzimas), perfume y abrillantador óptico
5	Alquilaril Sulfonato de Sodio, Fosfato de Sodio, Silicato de Sodio, Carboximetil celulosa, colorante, blanqueador óptico y perfume
6	Abrillantadores ópticos, tensoactivos aniónicos, Jabón, fosfatos, carbonatos, Poliacrilatos, Enzimas, Silicatos, Perfume
7	Alquilaril sulfonato de sodio, fosfatos de sodio, sulfato de sodio, silicato sodio, carboximetil celulosa, colorante, blanqueador optimo y perfume
9	Ayuda proceso, ablandador de agua, dodecilbenceno sulfonato de sodio, agentes de limpieza, suavizante, antiredepositante, perfume, enzima, abrillantadores óptimos, supresor de espuma, colorante

6. DUREZA DEL AGUA

La dureza del agua es una medida equivalente de los cationes multivalentes disueltos en el agua, particularmente los iones de Ca y Mg, que se presentan en significativas concentraciones en las aguas naturales (Thobanoglous & Schroeder, 1987). Estos iones se encuentran disueltos en el agua debido a que se infiltran en el subsuelo, y en menor grado por la escorrentía sobre suelos ricos en sales (Universidad de Santiago de Chile, 1965). Iones como el Hierro (Fe^{2+}) y el Manganeseo (Mn^{2+}) pueden contribuir a la dureza del agua, pero se encuentran en bajas concentraciones.

La dureza del agua, no es un riesgo para la salud humana (Skipton, S., Jasa, P., Dvorak, B., 2004), pero presenta problemas en el sistema de distribución de las aguas, creados por el exceso de dureza:

- La deposición, a la temperatura ambiente, de incrustaciones en tuberías que afectan el régimen hidráulico al presentarse como obstáculo por el flujo de agua.
- Puede alterar las operaciones de algunas industrias, en los que los excesos de Ca y Mg constituyen interferencias e inhiben o alteran las reacciones que se realizan en los procesos industriales.

La dureza es un parámetro de la calidad del agua potable, por lo tanto se controla principalmente en las fuentes de agua potable y en algunos procesos industriales. Los niveles de aceptación de dureza se han clasificado según la concentración de CaCO_3 presentes en el agua. Para contenidos prácticos, solo se consideran como dureza del agua los contenidos iónicos de calcio y magnesio (Thobanoglous &

Schroeder). El agua se puede clasificar según su dureza total, como se observa en la tabla 5.

Tabla 5. Clasificación del agua según su dureza

Clasificación	mg/L CaCO ₃
Blanda	0-17.1
Levemente dura	17.1-60
Moderadamente dura	60-120
Dura	120-180
Muy dura	>180

Fuente: Skipton, S., Jasa, P., Dvorak, B, 2004.

En Colombia en el decreto 495 de 1998 del Ministerio del Medio Ambiente, se reglamenta que el agua para consumo humano debe tener un máximo de dureza de 160 mg/L de CaCO₃. En la Agencia de Protección Ambiental de los USA (EPA), no se ha puesto un límite de la dureza en el agua (Plazas, 2005). En los estándares de servicio público de USA se recomienda un máximo de 500 mg/L de dureza en el agua potable.

6. 1 DUREZA DEL AGUA EN BOGOTÁ

La dureza del agua potable en la ciudad de Bogotá D.C, es controlada a través de mediciones que se hacen diariamente de dureza total y cálcica por la empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá en diferentes puntos del sistema de acueducto en barrios y en los sistemas que surten y distribuyen el agua a la ciudad de Bogotá. Los sistemas de abastecimiento son: el Sistema Chingaza - Planta de Tratamiento Wiesner, el sistema Río Bogotá - Planta de Tratamiento Tibitoc y el Sistema Chisacá / La Regadera, Plantas de Tratamiento La Laguna y Vitelma. Los barrios abastecidos de agua potable por estos sistemas se pueden ver en el anexo 1.

La empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá cuenta con una Red matriz o Red primaria de alcantarillado, que es definido en el decreto 229 de 2002 del Ministerio de Desarrollo Económico, como la red de recolección que conforma la malla principal del servicio de una población y que recibe el agua procedente de las redes secundarias y las transporta hasta las plantas de tratamiento o hasta el sitio de su disposición final.

La empresa de Acueducto y Alcantarillado suministró para el proyecto datos promedios de dureza total y cálcica medidos en los diferentes puntos de las zonas operativas¹ de la ciudad desde Enero de 2004 hasta Julio de 2005 (ver anexo 2).

En la figura 3, se observa las diferentes zonas operativas de la ciudad y los diferentes puntos de medición solicitados de dureza cálcica y total de Bogotá D.C. al Acueducto (ver figura 3). Junto con los puntos de muestreo se cuenta con los datos de dureza de las plantas que surten y distribuyen el agua a estos barrios en la ciudad de Bogotá: Planta de tratamiento de agua potable (PTAP) Wiesner, Tibitoc y El Dorado.

¹ División de la ciudad realizada por la empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá D.C.

Figura 3. Mapa de zonas y puntos de medición

Fuente: Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, 2005

Para facilidad de interpretación de los datos se dividieron los puntos de medición de la dureza dependiendo de las plantas de tratamiento para agua potable que suministran los puntos; la división de los puntos se puede observar en la tabla 6.

Tabla 6. División de puntos de medición

Planta	Puntos
El Dorado	Venecia, Bosa
Tibitoc	Monteblanco, Parque de Suba, Suba, Fontibón, El Campín
Wiesner	Codito I, Codito II, Codito III, Paraíso I, Paraíso II, Paraíso III, Country y Santa Ana

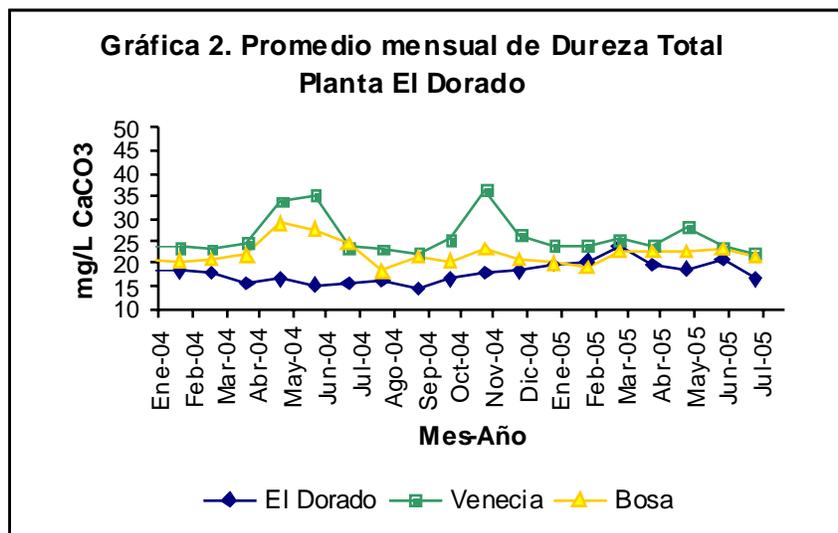
La dureza cálcica (mg/L CaCO_3) y total (mg/L CaCO_3) del agua potable de Bogotá versus el tiempo (mes), se graficaron en Excel® y teniendo en cuenta la división de la tabla 6.

6.1.1 Dureza Total

La dureza del agua se puede clasificar en dos tipos: dureza por carbonatos, asociada con bicarbonatos (HCO_3^-) y carbonatos (CO_3^{2-}), y dureza por no carbonatos, asociada con otros aniones, particularmente Cl^- y SO_4^- (Thobanoglous & Schroeder).

La dureza del agua se puede expresar como dureza total (DT), suma de la dureza cuantificable atribuible a las sales de calcio y magnesio (dureza por carbonatos) y la dureza por no carbonatos, que se desprecia al presentarse en muy bajas concentraciones.

Las siguientes gráficas muestran las mediciones del Acueducto de dureza total promedio mensual, mg/L CaCO_3 desde Enero de 2004 hasta Julio de 2005, en diferentes puntos y sistemas de potabilización en Bogotá.



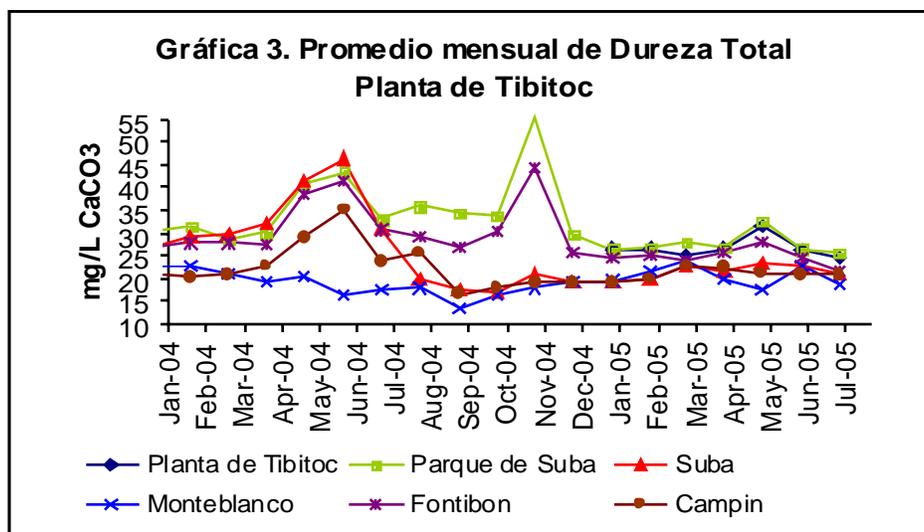
En la gráfica 2 se puede observar el promedio mensual de dureza total para la PTAP El Dorado y algunos puntos de medición en los barrios donde se abastece el agua potable de la planta. A partir de la gráfica 2 se puede inferir que para los meses de Enero y Febrero de 2004 como de 2005, la dureza total promedio mensual es relativamente constante, tanto en la PTAP el Dorado como en los

puntos de muestreo. A partir de Marzo, Abril y Mayo la dureza total promedio aumenta en los puntos de muestreo; esto se relaciona con meses lluviosos.

Para 2004 son mayores las durezas totales registradas en los puntos de muestreo que en el primer semestre de 2005; posiblemente en este año no se ha excedido la precipitación del año anterior. La precipitación es una fuente de dureza, ya que disuelve las sales presentes en sedimentos y rocas, y las suministra a las fuentes de agua.

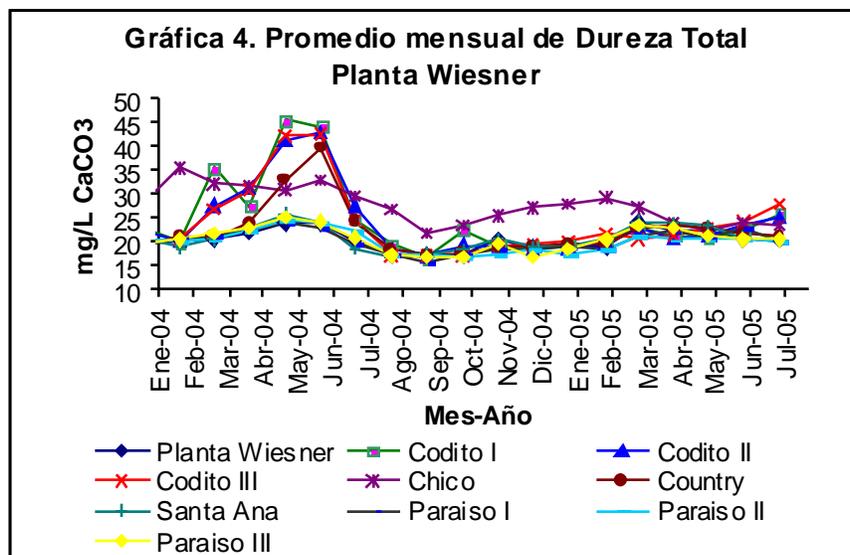
En la gráfica 2 se observa que la dureza total promedio medida en Venecia es mayor que la medida en Bosa; esto se debe posiblemente a características climatológicas de las zona; si se observa la figura 3 ambos puntos de medición están ubicados en diferentes zonas.

La PTAP El Dorado, presenta en el mes de Septiembre de 2004 la menor dureza total promedio registrada en los puntos de medición, 15.68 mg/L CaCO₃. Venecia, presenta en el mes de Noviembre de 2004 la mayor dureza total promedio registrada, 45.37 mg/L CaCO₃. La dureza máxima registrada se puede clasificar según la tabla 5 como moderadamente dura.



En la gráfica 3, se muestra la dureza total promedio mensual para la PTAP de Tibitoc, desde Enero hasta Julio de 2005, ya que solo se cuentan con estos datos.

En esta gráfica se observa la dureza total promedio mensual de algunos puntos donde es abastecido por la PTAP de Tibitoc. El comportamiento general de cada punto de muestreo es de disminución de la dureza en los primeros meses del año que corresponde a época de verano en la ciudad (Enero, Febrero y Marzo), posteriormente aumenta en los meses de Abril, Mayo y Junio, época de lluvia; y en los meses de Julio, Agosto y Septiembre, se presenta de nuevo una disminución, debido a la época de verano que se vuelve a presentar en la ciudad. En Septiembre de 2004 se presenta la mínima dureza total promedio en el punto Monteblanco. En época de lluvia (Octubre y Noviembre) se registra un aumento en la dureza. En Noviembre se presenta la mayor dureza total promedio mensual registrada de 2004 y del primer semestre de 2005, en el Parque de Suba. El comportamiento de dureza total es similar para el año 2004 como para el primer semestre de 2005. La dureza total máxima promedio mensual se puede clasificar según la tabla 5 como levemente dura.



En la gráfica 4 se muestra la dureza total promedio de la PTAP de Wiesner y la dureza de algunos puntos de medición en los barrios de abastecimiento de agua por esta PTAP. Se cuentan con puntos de medición muy cercanos (Codito I, II y III), ver figura 3, lo cual explica la convergencia de algunos puntos en la gráfica; el

hecho que se tengan puntos de medición muy cercanos, garantiza que se pueda contar con las mismas condiciones ambientales como de suministro de agua.

En la gráfica 4 se puede observar que a medida que el agua es suministrada por los cerros orientales la dureza va disminuyendo; los barrios Codito I, II y III registran los mayores datos de dureza, seguidos por Chico y por último Paraíso; estos barrios en la figura 3 están ubicados de Norte a Sur respectivamente. Los mayores datos de dureza promedio mensual se registran en los meses de invierno (Abril, Mayo y Junio de 2004). En el mes de Mayo se presenta la máxima dureza total en el barrio Codito I. En los últimos meses, de los datos registrados (Marzo a Abril de 2005), la dureza converge para la mayoría de los puntos y es relativamente constante, registrándose un valor aproximado de 25 mg/L; en el mes de Julio se ve un aumento muy pequeño. En 2005 no se ve una variación de datos de dureza muy drástica como se observa en el primer semestre de 2004; posiblemente, de acuerdo con lo mencionado en forma previa, las precipitaciones no han sobrepasado las del año 2004. La dureza del agua en este sector de la ciudad se puede clasificar como levemente dura.

Al comparar las gráficas 2, 3 y 4 se observa que en época de invierno (Abril, Mayo, Octubre y Noviembre) la dureza total aumenta, indicando que la lluvia causa la disolución de las sales de Calcio y Magnesio presentes en las rocas y sedimentos que llegan a los sistemas de suministro de agua potable en la ciudad.

A continuación se muestra un análisis estadístico realizado para los datos de dureza total promedio mensual para capa PTAP y sus respectivos puntos de medición.

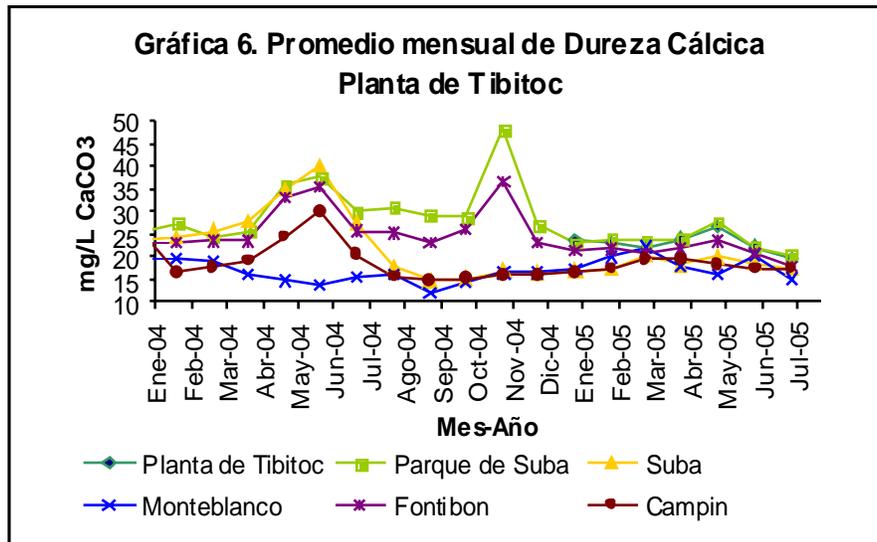
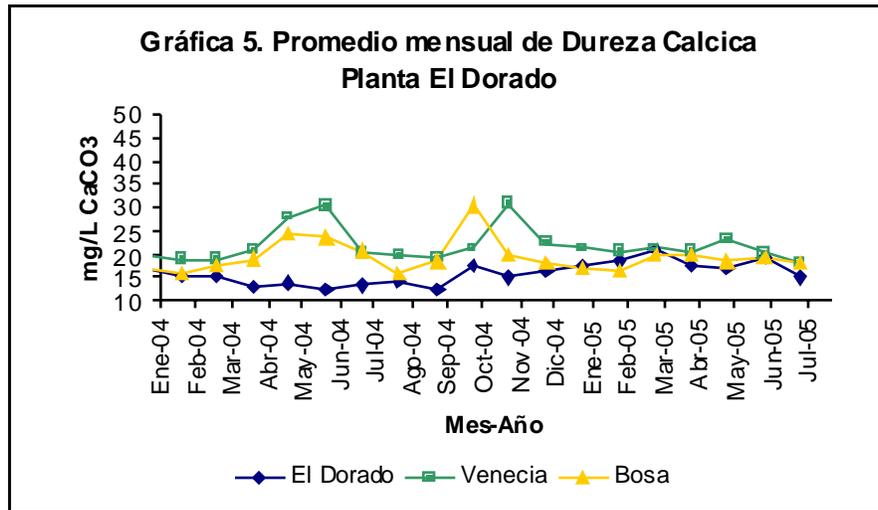
Tabla 7. Análisis estadístico de los datos de dureza total promedio

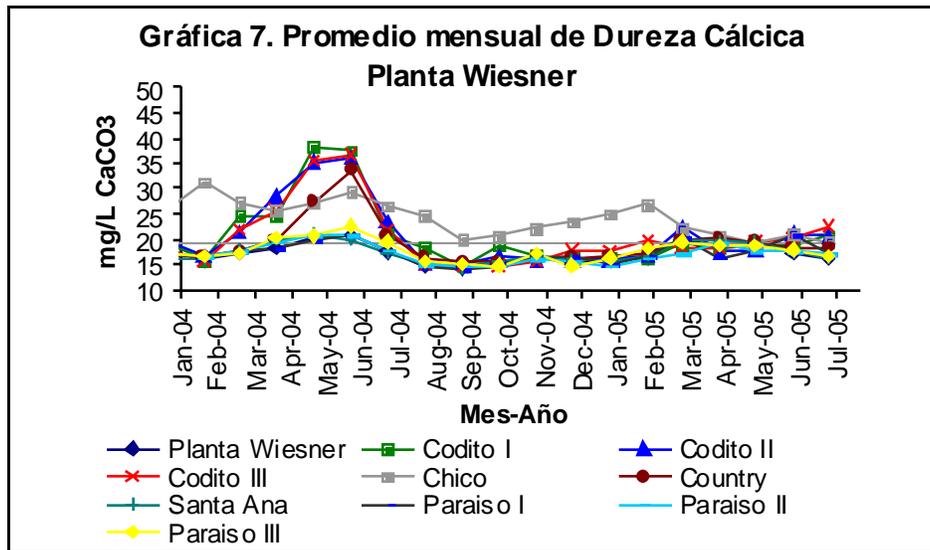
PTAP	Tibitoc	Wiesner	El Dorado
Máximo	55,24	45,37	36,52
Mínimo	7,69	15,68	14,49
Mes máximo-Año	Nov-04	Nov-04	May-04
Mes mínimo-Año	Sep-04	Sep-04	Sep-04
Desviación Estándar	7,10	5,16	4,50
Media	18,41	21,75	21,62
Mediana	17,71	20,82	21,90

Según la tabla 7, la media de la dureza total promedio mensual en los puntos de medición es aproximadamente 21 mg/L CaCO₃; la máxima dureza total promedio se presenta en la PTAP de Tibitoc en el punto de Parque de Suba, 55.24 mg/L CaCO₃. Los datos promedio mensuales de dureza total se pueden clasificar como levemente dura, según la tabla 5; lo cual indica que el agua en Bogotá es un agua blanda, con iones de calcio y magnesio relativamente bajos.

6.1.2 Dureza cálcica

La dureza del agua se puede expresar como dureza cálcica, definida como la dureza debido a los iones de calcio del agua. En la siguiente gráfica se puede observar los datos promedio mensuales de la dureza cálcica en la ciudad de Bogotá para los diferentes puntos de medición. La dureza cálcica máxima registrada es de 48 mg/L CaCO₃, correspondiente a la máxima dureza total promedio registrada, en la Planta de Tibitoc, en el punto del Parque de Suba.





En la tabla 8, se muestra el análisis estadístico determinado a los datos de dureza cálcica promedio mensual para las diferentes PTAPS y sus puntos de medición.

Tabla 8. Análisis estadístico de los datos de dureza cálcica

PTAP	Tibitoc	Wiesner	El Dorado
Máximo	48	38,30	30,76
Mínimo	6,61	13,82	12,75
Mes máximo-Año	Nov-04	Nov-04	May-04
Mes mínimo-Año	Sep-04	Sep-04	Sep-04
Desviación Estándar	6,61	4,41	3,97
Media	22,22	18,57	18,83
Mediana	22,83	17,63	18,83

Las gráficas 5, 6 y 7 tienen igual comportamiento que las graficas 2, 3 y 4, respectivamente. La dureza cálcica como se dijo anteriormente se presenta por la concentración de iones de calcio, que llegan a ser casi por completo la dureza total; si se comparan los datos de las tablas 7 y 8, los datos están muy cercanos. Esto garantiza que en el agua potable de Bogotá se caracteriza por un alta concentraciones de iones de calcio, medidas a través de la dureza cálcica, y por lo tanto una baja concentración de iones de Magnesio.

5. CARGA DE FÓSFORO EN EL RÍO BOGOTÁ

El río Bogotá nace a 3400 m.s.n.m. en el páramo de Guachenepe, en el municipio de Villapinzón. El río tiene una longitud de 370 Km y su cuenca se encuentra dividida en alta, media y baja.

Las cargas contaminantes que recibe el río de más de 36 municipios (Rincón, 2004) hace que la calidad física, química y biológica sea alterada. La principal carga contaminante es generada por Bogotá D.C. El río por su paso por la ciudad, cuenca media, ya presenta problemas sanitarios a las personas que viven alrededor del cauce, como se dijo anteriormente.

La carga de fósforo en el río Bogotá se calculó en su cuenca media, conociendo la concentración de Fósforo y caudal en diferentes puntos sobre la cuenca. Estos datos se tomaron del Informe Final de la Modelación de la calidad del río Bogotá, Uniandes, 2001. En este Informe se muestran los resultados de medición diferentes parámetros de calidad del agua medidas a lo largo del Río Bogotá hechos en varias campañas. Entre los parámetros medidos se encuentran el fósforo soluble y total. En el anexo 3 se aprecia el recorrido de la cuenca media del río Bogotá, con los puntos de medición del fósforo total que se realizaron sobre el río y sus puntos de descargas. En el anexo 4 se muestran los datos que se utilizaron del informe (punto, abscisa (Km), concentración total de fósforo, fósforo soluble (mg/L) y caudal (m^3/s) en cada campaña).

El fósforo total determina todas las formas de fósforo que se encuentra en el agua:

- Fósforo reactivo soluble: en esta categoría se encuentran los ortofosfatos o fósforo inorgánico soluble ($H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-} , PO_4^{3-}) (Camacho, 2005). Esta forma de fósforo es la principal componente de la eutroficación en los cuerpos de agua, al estar en la forma como lo asimilan las plantas.
- Fósforo orgánica particulado, procedente de los tejidos de animales y plantas y de los procesos biológicos que ocurre en el agua.
- Fósforo orgánico no particulado se origina de la descomposición de las partículas orgánicas del fósforo, o del uso de fertilizantes orgánicos con contenido de fósforo.
- Fósforo inorgánico particulado, procedente de los minerales, de los fosfatos y ortofosfatos absorbidos que forman complejos con la materia orgánica (Camacho).
- Fósforo inorgánico no particulado se encuentran los fosfatos condensados como los encontrados en los detergentes, los polifosfatos.
- Fósforo soluble: es la parte de fósforo total que es soluble en el agua.
- Fósforo insoluble: es la parte de fósforo total que es insoluble con el agua.

El promedio de carga de fósforo total en la cuenca media del río Bogotá y las descargas que recibe el río cuando pasa por la ciudad, se calcularon utilizando la siguiente ecuación:

$$L = Q * C * 8.64 * 10^{-8} \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

L= Carga de fósforo total (Ton/d)

Q= Caudal (m^3/s)

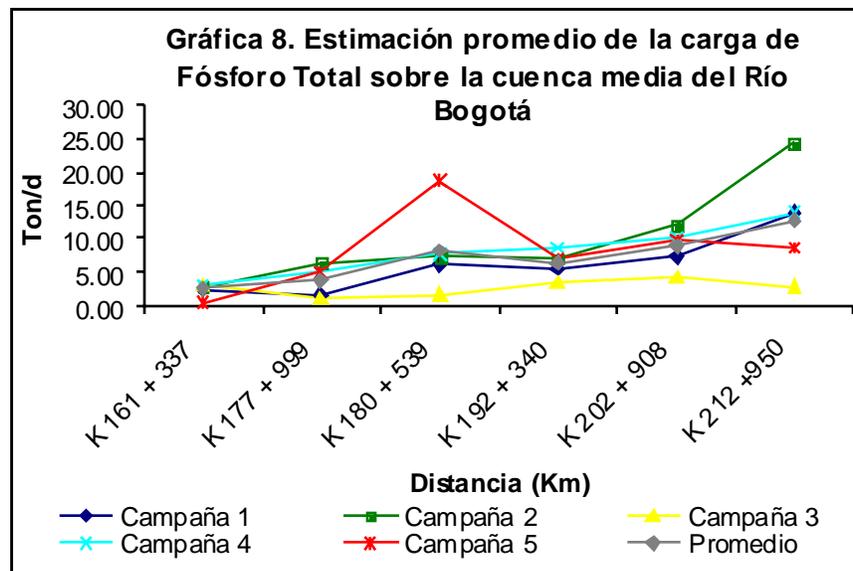
C= Concentración de fósforo total ($mg/L=g/m^3$)

Los resultados obtenidos se puede observar en la tabla 9 de la carga de fósforo en el río y tabla 11 de las descargas en el río.

Tabla 9. Carga de Fósforo Total sobre la cuenca media del Río Bogotá

Punto de medición	Abscisa (Km)	Carga (Ton/d)						Carga (Ton/año)	
		Fósforo Total C-1	Fósforo Total C-2	Fósforo Total C-3	Fósforo Total C-4	Fósforo Total C-5	Promedio Fósforo Total	Fosforo Total promedio (Ton/año)	
Vuelta Grande	K 160+915	2.37	3.02	3.32	3.38	0.56	2.53	923.08	
El Cortijo	K 161 + 337	1.91	6.62	1.29	4.94	5.08	3.97	1447.90	
A. Arr. Saucedal II	K 180 + 539	6.33	7.39	1.67	7.64	18.81	8.37	3054.73	
La Isla	K 192 + 340	5.62	7.25	3.44	8.65	7.01	6.39	2334.17	
Huertas	K 202 + 908	7.41	12.22	4.31	10.21	9.75	8.78	3205.11	
V. Mondoñedo	K 212 +950	14.05	24.45	2.98	14.01	8.68	12.84	4684.91	

Una gráfica de los valores anteriores se muestra a continuación.



La media aritmética o promedio se tomó para cuantificar la carga promedio de fósforo en el Río Bogotá. Vale aclarar que esto se hace con el fin de estudiar cuanto fósforo llega al Río y compararlo con el fósforo medido en los detergentes.

Con los datos de la tabla 9 se estima la carga de fósforo total promedio de río Bogotá en 4684.91 Ton/año, teniendo en cuenta que la abscisa en el punto donde el río ha recibido todas las descargas en la ciudad, es K 212+ 950. La carga inicial promedio de fósforo que tiene el río cuando llega a la ciudad es de 226.96 Ton/año, correspondiente al punto de entrada del río a la ciudad, abscisa K

160+915. A partir de estos datos, se calcula que el río incrementa su carga de fósforo al pasar por la ciudad aproximadamente 20 veces la carga inicial, ratificando lo que se dijo anteriormente: Bogotá aporta la principal carga contaminante del río.

Las cargas calculadas varían de campaña en campaña, debido a que hay factores como el caudal que varían dependiendo de la época del año en que se hagan las mediciones; verano o invierno.

La carga de fósforo aumenta a medida que el río hace su recorrido por la ciudad. Esto se debe a que el río recibe las descargas de fósforo total de los barrios de la ciudad y no son removidas o bien la remoción hecha es insignificante con la concentración que tiene el río. La tendencia de aumento de la carga de fósforo se observó en todas las campañas de medición realizadas.

En la campaña 3, mostró la carga de fósforo más baja; lo contrario lo mostró la campaña 2, donde se presentan cargas de 12.22 Ton/d en la abscisa K 212+950. La campaña 5 presenta un pico en la abscisa K 180+539; posiblemente debido a la descarga que recibe por parte del Río Fucha, con un alto contenido de fósforo o a un error de medición en los ensayos de laboratorio. La carga de fósforo que se compara con la calculada por los detergentes es la carga promedio de fósforo total a la abscisa K 212+ 950, donde el río ha recibido todas las descargas.

En la tabla 10 se muestra un análisis estadístico de los resultados obtenidos de las cargas de fósforo del Río Bogotá.

Tabla 10. Análisis estadístico de la carga de fósforo total en el Río Bogotá

Estación	Abscisado (Km)	Desviación Estándar	Coefficiente Asímetrico	Varianza	Media Aritmética	Mediana	Maxímo	Mínimo
El Cortijo	K 161 + 337	1.17	-1.66	1.37	2.53	3.02	3.38	0.56
Hda. San Fco	K 177 + 999	2.27	-0.25	5.16	3.97	4.94	6.62	1.29
A. Arr. Saucedal II	K 180 + 539	6.31	1.37	39.86	8.37	7.39	18.81	1.67
La Isla	K 192 + 340	1.97	-0.76	3.88	6.39	7.01	8.65	3.44
Huertas	K 202 + 908	3.03	-0.71	9.18	8.78	9.75	12.22	4.31
V. Mondoñedo	K 212 + 950	7.94	0.45	63.01	12.84	14.01	24.45	2.98

A partir de la tabla anterior se puede inferir que los resultados obtenidos de la carga promedio de fósforo total sobre el Río Bogotá presentan una alta medida de dispersión (varianza), con respecto a la media aritmética (promedio), indicando que tomar la media de la carga de Fósforo total como un dato fijo puede ser un resultado no representativo del Río.

En la tabla 10 se muestra los valores máximos y mínimos para cada estación en todas las campañas. A partir de los resultados obtenidos se observa que V.Mondoñedo presenta la mínima carga de fósforo de todas las estaciones en todas las campañas. Este resultado como se dijo anteriormente es erróneo, ya que en esta estación se esperaría que la carga de Fósforo fuera mayor que la de todas las estaciones de medición, ya que en este punto ya se han recibidos todas las descargas de Bogotá al Río.

En cuanto a las descargas en la tabla 11 se muestran los resultados de la carga de fósforo en cada punto de descarga medido sobre el río Bogotá.

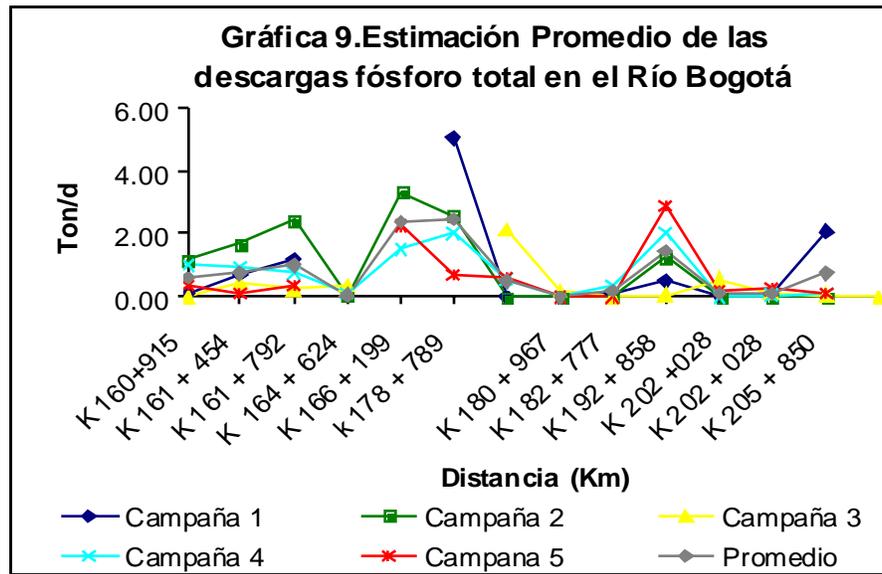
Tabla 11. Descargas de fósforo total en la cuenca media del Río Bogotá

Estación	Abscisado (Km)	Carga (Ton/d)						Carga (Ton/año)	
		Fósforo Total	Fósforo C-1	Fósforo Total C-2	Fósforo Total C-3	Fósforo Total C-4	Fósforo Total C-5	Fósforo Total promedio	Fósforo Total promedio
By Pass Juan Amaillo	K 161 + 454	0.72		1.72	0.24	0.97	0.14	0.76	276.58
Canal Agua tratada	K 161 + 792	1.18		2.49	0.39	0.74	0.35	1.03	376.26
Enqativa	K 164 + 624	0.00		0.09	0.00	0.10		0.09	34.04
Jaboque	K 166 + 199	0.00		3.38	0.00	1.49	2.28	2.38	869.64
Río Fucha	k 178 + 789	5.05		2.59	2.13	2.00	0.69	2.49	910.24
B. Fontibon	K	0.00		0.00	0.19	0.60	0.65	0.48	175.11
B. Patio Bonito	K 180 + 967	0.00		0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	2.83
B. Gibraltar	K 182 + 777	0.10		0.00	0.05	0.38	0.00	0.17	63.09
Tuniuelo	K 192 + 858	0.53		1.27	0.55	1.99	2.91	1.45	529.32
Soacha I	K 202 +028	0.00		0.00	0.12	0.00	0.16	0.14	51.94
Soacha II	K 202 + 028	0.11		0.00	0.07	0.09	0.24	0.13	46.88
Colector Soacha I	K 205 + 850	2.09		0.00	0.03	0.11	0.10	0.78	283.83
Descarga Total		3569.64		4209.28	1381.68	3091.22	2747.44	3619.75	3619.75

En la tabla anterior se muestra que hay puntos de medición en algunas campañas donde no hay datos de carga de Fósforo; esto se debe porque en algunos puntos no se encuentran los datos del caudal o concentración de fósforo.

En la tabla 11, se puede observar que la mayor carga de fósforo es la que recibe por parte del Río Fucha, seguido de Jaboque; en estos puntos posiblemente el río toma las aguas negras de barrios con mayor número de habitantes que en los demás; lo cual hace que aumente las cargas de aguas residuales hechas al río y consecuentemente la carga de fósforo.

En la siguiente gráfica se muestran las diferentes distancias (abscisas) de los puntos de descarga en el río Bogotá y las descargas de fósforo depositadas al río:



En la anterior gráfica se aprecia que la campaña 2 presenta una mayor carga de fósforo, como se presentó en la grafica 8. En la gráfica 9 se muestra una línea discontinua para la campaña 3; eso se debe a que no se cuentan con estos datos. En la gráfica se aprecia que existen diferentes picos de descargas. Los puntos picos son: el punto de medición en el canal de agua tratada, Jaboque y Tunjuelo. Un pico en el canal de agua tratada demuestra que la planta de tratamiento de aguas residuales el Salitre, no remueve nutrientes. El Río Tunjuelo antes de descargar sus aguas al río Bogotá, recibe descargas de diferentes barrios ubicados en su cauce, lo cual hace que recepte altas cargas de fósforo.

En la tabla 12 se muestra el análisis estadístico realizado para los datos de la tabla 11.

Tabla 12. Análisis estadístico de la carga de fósforo total en los puntos de descarga sobre el Río Bogotá

Estación	Abcisado (Km)	Desviación Estándar	Coefficiente Asimétrico	Varianza	Media Aritmética	Mediana	Maxímo	Mínimo
Vuelta Grande	K 160+915	0.46	0.34	0.21	0.6	0.42	1.18	0.11
By Pass Juan Amarillo	K 161 + 454	0.64	0.84	0.41	0.8	0.72	1.72	0.14
Canal Agua tratada	K 161 + 792	0.88	1.52	0.77	1.0	0.74	2.49	0.35
Engativa	K 164 + 624	0.01		0.00	0.1	0.09	0.10	0.09
Jaboque	K 166 + 199	0.95	0.50	0.89	2.4	2.28	3.38	1.49
Río Fucha	k 178 + 789	1.59	1.10	2.54	2.5	2.13	5.05	0.69
B. Fontibon		0.32	0.37	0.10	0.5	0.19	0.65	0.19
B. Patio Bonito	K 180 + 967	0.00	2.24	0.00	0.0	0.00	0.01	0.01
B. Gibraltar	K 182 + 777	0.16	1.91	0.03	0.2	0.05	0.38	0.05
Tunjuelo	K 192 + 858	1.01	0.70	1.03	1.5	1.27	2.91	0.53
Soacha I	K 202 + 028	0.08	0.72	0.01	0.1	0.00	0.16	0.12
Soacha II	K 202 + 028	0.09	0.97	0.01	0.1	0.09	0.24	0.07
Colector Soacha I	K 205 + 850	0.91	2.22	0.83	0.78	0.10	2.09	0.03

A partir de la tabla 12 se puede inferir que los resultados de carga de fósforo obtenida entre campaña y campaña de medición en los puntos de descarga al Río Bogotá, no presentan gran variación entre resultados para las campañas. La carga de fósforo promedio mayor se presentará en las estaciones de medición Río Fucha y Jaboque, como se observó en la gráfica 9.

5. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

Para determinar el porcentaje de fósforo en los detergentes y su agente activo, se tomaron ciertas muestras de detergentes del mercado, de las marcas que más se venden en la ciudad (tabla 3). A cada muestra de detergente se le determinó el contenido de fosfatos por el método de ácido vanomolibdofósforico de Mohrig y del Standar Methods, se le determinó a las muestras el agente activo como sulfonato de alquilbenceno o alquilsulfonato lineal (LAS) por el método de sustancias activas de azul de metileno (MBAS) del Standar Methods; esta última prueba está ideada para aguas, pero se adaptó para detergentes. Todos estos métodos se escogieron básicamente porque se realizan en las instalaciones del C.I.I.A (Centro de Investigación de Ingeniería Ambiental) de la Universidad de los Andes.

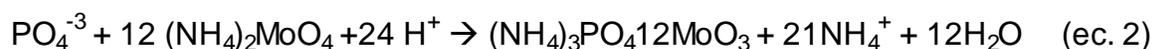
8.1 DETERMINACIÓN DE FOSFATOS EN EL DETERGENTE POR EL MÉTODO DE ÁCIDO VANOMOLIBDOFÓSFORICO

8.1.1 Descripción

La determinación de la cantidad total de fósforo en un detergente se puede realizar a través de diferentes técnicas. Estas incluyen métodos de "precipitación gravimétrica como el Magnesio Amonio Fosfato; métodos de titulación que envuelven reacciones de redox y neutralización" (Toralballa, Spielholtz & Steinberg, 1971); métodos colorimétricos (Buldini & Sharma, 1993), donde se incluyen varias técnicas que son utilizadas para determinar los fosfatos en una muestra de agua, como el método de análisis por inyección de flujo por ortofosfatos, Cloruro estañoso, el método de Ácido ascórbico y el método de ácido vanomolibdofósforico. Esta última metodología se utilizó para la determinación de fosfatos en los detergentes. Este método no presenta problemas cuando el contenido de los detergentes es mayor al 10%, siendo una ventaja sobre los otros métodos, ya que presenta menor sensibilidad (Mohrig, 1972).

En aguas este método determina una concentración de 1 a 20 mg/L P (IDEAM). La mínima concentración detectable es 200µg/L en una celda espectrofotométrica de 1 cm (Standar Methods, 1998).

El método del Ácido vanamolibdofósforico “se basa en una solución diluida de ortofosfatos, el molibdato de amonio reacciona bajo condiciones ácidas para formar un ácido molibdo fosforico (ver ecuación 2). En presencia de vanadio, el molibdo fosforico se convierte en fosfovanado molíbdico, de color amarillo (ver ecuación 3)”. (Sierra, 1982). La intensidad del color es proporcional a la concentración de fosfatos en la solución.



Los métodos colorimétricos son específicos para el Ion ortofosfatos (PO_4^{3-}) o sus formas protonizadas (Mohrig), por lo tanto la determinación de fosfatos en el detergente, se requiere de la hidrólisis de los componentes polifosfatos y tripolifosfatos. En la metodología diseñada se tuvo en cuenta la hidrólisis de los fosfatos propuesta por Mohrig. El resultado se expresa como % de P y % de TPP.

Para la determinación de P en los detergentes se utilizó el método de ácido vanomolibdofósforico propuesto por Mohrig para detergentes y el del Standar Methods con el fin de comparar los resultados. La diferencia entre ambos métodos es que Mohrig es adaptada para detergentes y el Standar Methods es para aguas. Entre ambos métodos varia el procedimiento; el principio utilizado es el mismo.

8.1.2 Interferencias

En la metodología de ácido vanamolibdofósforico se debe tener en cuenta, ciertas sustancias e iones que pueden estar presentes en la muestra y causar interferencias tanto positivas como negativas.

El sílice y el arsénico causan interferencias positivas si la muestra se calienta. Arsenato, fluoruros, torio, bismuto, sulfuro, tiosulfato, tiocinato o exceso de molibdato, causan interferencias negativas. El ion ferroso (Fe (III)) causa un color azul en la muestra, si se encuentra a una concentración de 100 mg/L o mayor.

En la tabla 13 se puede observar algunos iones que solo interfieren a concentración igual o mayor a 1000 mg/L; las interferencias son referenciadas de la metodología propuesta para aguas residuales por Standar Methods. Para muestras de detergentes, algunos de los iones y sustancias de la tabla 11 no se encuentran presentes; pero otros sí pueden presentar interferencia en algunos detergentes.

Después del UV fotólisis, en el proceso de fabricación de detergentes se pueden presentar iones como nitritos, nitratos, sulfatos, cloruros y carboxilatos, que pueden retener ortofosfatos, y llegar a confundirse con fosfatos (Buldini & Sharma).

En la tabla 14 se puede observar los límites de tolerancia para varios aniones para la determinación de 1 mg/L de fosfatos a un pH 7.5. Estos resultados fueron encontrados por Buldini y Sharma al ensayar una serie de soluciones que contenían 1 mg/L de fosfatos y cantidades variadas de posibles interferencias que fueron preparadas; las mediciones de fosfatos se hicieron por un método colorimétrico (Buldini & Sharma).

Tabla 13. Iones que no interfieren a concentraciones menores de 1000 mg/L

Al ³⁺	Ag ⁺	NO ₂ ⁻
NH ₄ ⁺	AsO ₃ ⁻	Na
NO ₃ ⁻	ClO ₄ ⁻	Ni
SO ₃ ²⁻	SiO ₄ ⁴⁻	U ⁴⁺
Hg ²⁺	Mg ²⁺	Zr
Hg ¹⁺	Sr ²⁺	Sn ₂ ⁺
Ni ²⁺	K ⁺	U ⁴⁺
Zr ⁴⁺	Mn ²⁺	Ni ²⁺
CO ₃ ²⁻	SO ₄ ²⁻	Tartrate
IO ₃ ⁻	Hg ⁺	Formate
Fe ³⁺	Cu ²⁺	Pirofosfato
Ba ²⁺	Br ⁻	Molibdato
Na ⁺	CN ⁻	Benzoato
Cd ²⁺	Ca ²⁺	Salicicato
NO ₂ ⁻	Ba	Tetraborato
Pb ₂ ⁺	Li	Oxalato
Citrato	Selenato	Lactate

Fuente: Molybdovanadate Rapid Liquid Method1, s.f.

Tabla 14. Limites de tolerancia para aniones en la determinación de 1 mg/L de Fosfatos

Ion	Tolerancia (mg/L)
Oxalato	1 000
Formate	1 000
Acetato	1 000
Benzoato	1 000
Succinate	1 000
Salicilato	400
Phatalato	250
Malonato	200
Estearate	500
Palmilate	500
Oleate	500
Laurate	1 000
Cloride	1 000
Nitrito	1 000
Nitrato	100
Sulfato	1 000
Silicate	5 000
Borato	5 000

Fuente: Buldini & Sharma, 1993.

8.1.3 Equipos, Reactivos y Soluciones

Equipos

- Espectrofotómetro, Termo Genesis Electrón Corporation. La longitud de onda a la cual la intensidad del color es medida, depende de la sensibilidad deseada. Para el método de Mohrig se escogió una longitud de onda de 400 nm y para Estándar Methods se escogió un longitud de 470 nm

Tabla 15. Rangos de Fósforo a diferentes longitudes de onda

Rango P (mg/L)	Longitud de Onda
1-5	400
2-10	420
4-8	470

Fuente: Sierra, 1982

- Vidriería lavada con ácido, todos los materiales de vidrio que se utilizaron se lavaron con Ácido Clorhídrico 15 % diluido y se enjuagaron con agua destilada, para evitar la contaminación de fosfatos que se pueden absorber en el vidrio.

Reactivos y soluciones

- Reactivo vanadio-molibdato: Solución A: se disolvió 25 g. de molibdato de amonio, $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$, en 300 mL de agua destilada. Solución B: se disolvió 1.25 g. de metavanadato de amonio, NH_4VO_3 , por calentamiento hasta ebullición en 300 mL de agua destilada. La solución B se dejó enfriar a temperatura ambiente y se le adicionó 330 mL de HCl concentrado. Se vertió la solución A en la B, se mezcló y se diluyó a 1 L.
- Solución patrón de fosfato: se disolvió 8.7742 mg de fosfato de potasio (KH_2PO_4) en agua destilada y se diluyó hasta 1 Litro; 1 mL es equivalente a 2000 μg P.

8.1.4 Procedimiento

A cada muestra de detergente se le hizo hidrólisis ácida del fosfato para convertirlo en ortofosfato y hacerlo reaccionar con el Amonio vanamolibdato para desarrollar el color, que posteriormente es leído en el espectrofotómetro. A cada muestra se le agregó 2 gotas de antiespumante de silicon al 40%, para evitar que en el momento de la digestión de ésta se produjera espuma ácida.

El procedimiento más específico se encuentra en el anexo 5 y 6, para el método de Mohrig y del Standar Methods, respectivamente.

8.2 DETERMINACIÓN DEL SURFACTANTE ANIÓNICO EN EL DETERGENTE POR EL MÉTODO DE SUSTANCIAS ACTIVAS DE AZUL DE METILENO (SAAM)

8.2.1 Descripción

El ensayo de SAAM determina la cantidad de surfactante aniónico que hay en un detergente sintético presente en un cuerpo de agua, es decir la materia activa responsable de la detergencia (Universidad de Navarra, 2004). La función de los surfactantes, como se dijo anteriormente, es remover las grasas y suciedad depositada en la ropa, trabajando en conjunto con el TPP del detergente.

El principio de la metodología de SAAM consiste en que la sustancia activa de azul de metileno reacciona en un medio alcalino con el surfactante aniónico (los compuestos reactivos y que se determinan en este ensayo son principalmente tensoactivos del tipo sulfonato $(ROSO_3)^-Na^+$, del tipo éster sulfato $(ROSO_3)^-Na^+$ y no-iónicos sulfatados $(RE_nOSO_3)^-Na^+$ (NTC 575)) del detergente sintético, formando pares iónicos. La intensidad del color azul resultante de la fase orgánica es una mediada de SAAM. El método consta de tres extracciones de un medio acuoso ácido que contiene exceso de azul de metileno en el cloroformo ($CHCl_3$),

seguido de un lavado y medida del color azul del CHCl_3 por espectrofotómetro a 652 nm. El método es aplicable a concentraciones debajo de 10 $\mu\text{g/L}$ SAAM (LAS). Los resultados obtenidos se reportan como sustancias activas al azul de metileno (SAAM)

8.2.2 Interferencias

El ensayo de SAAM, presenta interferencias tanto positivas como negativas, que se debe tener en cuenta para obtener medición más exacta. Las interferencias positivas se presentan debido a sustancias tales como sulfanatos, carboxilatos, fenoles, inorgánicos tiocinatos, cianatos, nitratos y cloruros. Las interferencias negativas pueden resultar de la presencia de materiales catiónicos, tales como aminas, porque compiten con el azul de metileno en la formación de pares iónicos. Algunas partículas pueden absorber el azul de metileno, presentando interferencia negativa en la prueba.

8.2.3 Equipos, Reactivos y Soluciones

Equipos

- Espectrofotómetro, Thermo Genesis Electron Corporation, para usar a 652 nm a un paso de luz de 1 cm.
- Embudos de separación de 250 mL con tapa y llave de teflón.
- Probetas graduadas de 100 mL de vidrio.
- Pipetas volumétricas de 10 a 100 mL de vidrio.
- Embudos de filtración de vidrio.
- Balones de 100 mL aforados de vidrio con tapas.

Reactivos y Soluciones

- Solución de aquil – sulfato ó aquil benceno sulfanato lineal. (Dodecil Hidrógeno Sulfato de sodio $\text{C}_{12}\text{H}_{25}\text{NaO}_4\text{S}$) se pesó 0,0500g y se disolvió en 500 mL de agua destilada. Concentración 100 mg/L.
- Solución estándar LAS:

Se tomó 1 mL de solución estándar anterior y se completó a 100 mL con agua desionizada. Se tomó una alícuota de 10 mL y se completó a 100 mL con agua destilada.

- Solución indicadora de Fenolftaleína alcohólica.
Se disolvió 5 g de Fenolftaleína en 500 mL de alcohol etílico o isopropílico al 95% y se completó a 1000 mL con agua destilada.
- Hidróxido de Sodio, NaOH 1N.
- Acido sulfúrico, H₂SO₄, 1N y 6N.
- Cloroformo, CHCl₃.
- Reactivo azul de metileno: se disolvió 100 mg de azul de metileno en 100 mL de agua. Se transfirió 30 mL a un frasco de 1000 mL. Se adicionó 500 mL de agua desionizada, 41 mL H₂SO₄ 6N y 50 g de fosfato de sodio monobásico monohidratado, NaH₂PO₄·H₂O y se agitó hasta disolver. La mezcla se diluyó a 1000 mL.
- Solución de lavado:
Se adicionó 41 mL H₂SO₄ 6N a 500 mL de agua en un frasco de 1000 mL, después se le adicionó 50 g de NaH₂PO₄·H₂O y se agitó hasta disolver. La mezcla se diluyó a 1000 mL
- Fibra de vidrio.
Preextraída con CHCl₃ para remover interferencias.
- Agua reactivo, libre de SAAM

8.2.4 Procedimiento

A cada muestra de detergente se le aplicó el procedimiento propuesto por Standar Methods para SAAM (anexo 7). Se pesó 1 gr. de muestra de detergente; se diluyó hasta 1000 mL, y de esto se tomó 1 mL y se llevó hasta 1000 mL, para garantizar que entrara en la curva de calibración.

9. RESULTADOS Y OBSERVACIONES

9.1 SELECCIÓN DE LAS MUESTRAS DE DETERGENTES

A través de la información encontrada de la participación en el mercado de los diferentes detergentes que se venden en Bogotá, se escogieron los detergentes cuya participación abarca el 80% del mercado (Tabla 3). Estos detergentes son la marca 1, 2, 3 y 4. Los detergentes se consiguieron en diferentes supermercados de cadena en la ciudad.

A cada muestra de detergente se tomó un peso determinado, se diluyó en una cantidad de agua desionizada, y se sometió a agitación por un tiempo de cinco minutos (5 min.).

La agitación se realizó por medio de un agitador magnético, para garantizar la homogenización de la muestra. A cada muestra se le realizó ensayo de Ácido vanomolibdofósforico por la metodología de Mohrig y Standar Methods para comparar los resultados de fósforo obtenido; también se le realizó la determinación de agente activo SAAM.

9.2 DETERMINACIÓN DE FÓSFORO EN LOS DETERGENTES

9.2.1 Hidrólisis del Fósforo

Para comprobar que era necesario hidrolizar el TPP en los detergentes para la determinación de fósforo, se realizó pruebas con 3 muestras de un mismo detergente a diferentes diluciones. A cada muestra se le realizó el ensayo del Standar Methods omitiendo la digestión del TPP. Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 16. Resultados de ensayos de hidrolización de detergentes

Muestra	Dilución	Absorvancia(A) Ab-Am
Blanco	0	0
1	100	0.002
2	50	0.002
3	10	0.002

7.2.2 Interferencias

Se realizó un ensayo con 2 muestras de patrón de fósforo (concentración P conocida), para determinar si el antiespumante silicon 40% presentaba interferencias en el ensayo. A una muestra se le agregó antiespumante; a ambas muestras se le realizó el procedimiento de Mohrig. Los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 17. Resultados de ensayos con antiespumante

Muestra	Característica	Absorvancia(A) Ab-Am	Concentración P conocida(mg/L)	Ecuación	Concentración P determinada (mg/L)
1	Antiespumante	0.19	4	18.367x + 0.2315	3.721
2	Sin antiespumante	0.19	4		3.721

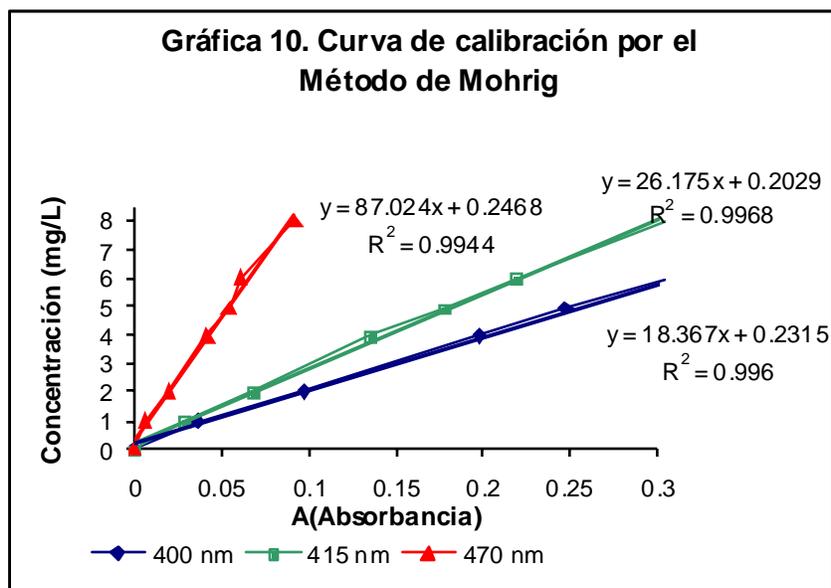
9.2.3 Curva de calibración

Método de Mohrig

Para obtener los resultados obtenidos de Fósforo por la metodología de Mohrig, se realizaron varias curvas de calibración, a diferentes longitudes de onda, 400, 415 y 470nm. En el anexo 8 se muestra los resultados obtenidos.

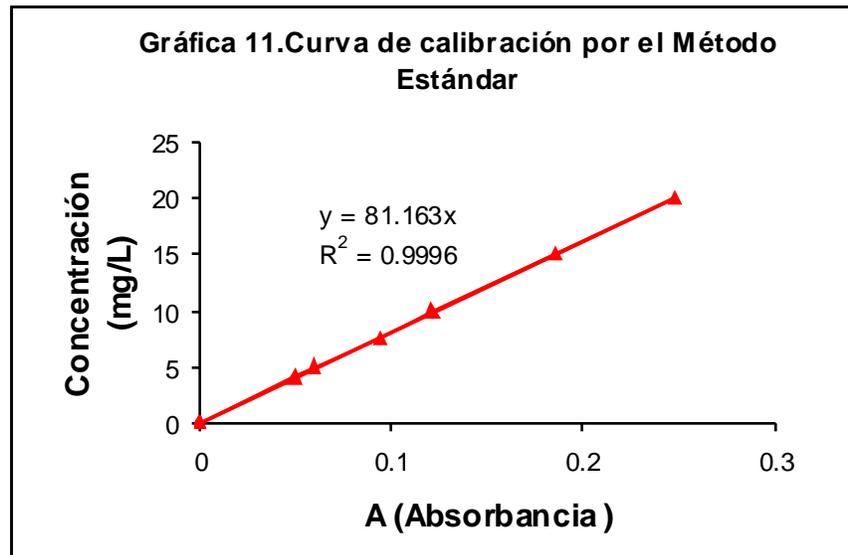
A partir de las curvas de calibración obtenidas (Concentración vs A (Absorbancia)), se escogió la curva con los datos que se más asemeja a una línea recta, a través del parámetro de R^2 . La curva que obtuviera mayor R^2 sería utilizada para los cálculos. La curva que cumplió con este parámetro fue la de

400nm. En la siguiente gráfica se muestra los resultados de las diferentes curvas para Mohrig.



- **Standar Methods**

Para la metodología aplicada del Standar Methods, la curva de calibración fue suministrada por el C.I.I.A.; los datos suministrados se encuentran en el anexo 8. En la siguiente gráfica se muestra la curva de calibración obtenida.



9.2.4 Resultados de los análisis de laboratorio

A continuación se muestra la tabla con los resultados obtenidos en el laboratorio de los ensayos realizados para la determinación de P en los detergentes y los resultados calculados.

En la tabla 18 se indica:

- Marca de la muestra de detergente.
- Consumo en Ton/año del detergente que se calculó en el capítulo 3.
- Método utilizado (Mohrig o Standar Methods).
- Factor de dilución volumen-volumen de la muestra.
- Los resultados de Absorbancia (A) (Este dato ya tiene restada la absorbancia del blanco).
- Ecuación de la recta de la curva de calibración; X es la absorbancia medida y Y la concentración de P en mg /L.
- Peso de la muestra (P).
- Volumen de la muestra.

- F_v/m , factor de dilución volumen-masa de la muestra, que se calculó con la siguiente ecuación:

$$F_{v/m} = \frac{V(mL)}{m(g)} \quad (\text{Ec. 4})$$

V= Volumen de dilución inicial

P= Peso de la muestra de detergente (g)

Tabla 18. Resultados de laboratorio para fósforo en los detergentes

Marca	Consumo (Ton/año)	Método	P (g)	V(mL)	F	A
1	7410	Mohrig	1.020	250	50	0.148
2	6734		1.060			0.175
3	4108		1.050			0.122
4	2054		1.016			0.125
1	7410	Standar Methods	0.250	250		0.363
1	7410		0.250			0.282
2	6734		0.250			0.412
2	6734		0.250			0.354
3	4108		0.251			0.303
3	4108		0.251			0.315
4	2054		0.249			0.286
4	2054		0.249			0.256
1	7410	Standar Methods	0.504	500	2	0.169
1	7410		0.504			0.146
2	6734		0.507			0.316
2	6734		0.507			0.209
3	4108		0.503			0.13
3	4108		0.503			0.148
4	2054		0.509			0.155
4	2054		0.509			0.134

A partir de los resultados obtenidos en la tabla anterior, se calculó la concentración de Fósforo en las muestras (C), con la ecuación de la recta de la curva de calibración para cada método. A partir de C, se calculó el porcentaje de fósforo (%P), con la siguiente ecuación:

$$\%P = \frac{C * F * F_v/m}{10.000} \quad (\text{Ec. 5})$$

% P= Porcentaje de fósforo

C= Concentración de fósforo determinada (mg/L)

F= Factor de dilución

Fv/m= Factor de dilución volumen- peso (mL/g)

Conociendo % P, se calculó la carga anual de P usada en el detergente, C_p (Ton/año), el % de TPP, la carga anual de TPP, $Carga_{TPP}$ (Ton/año) , con las siguientes ecuaciones:

$$Carga_p = \frac{\%P * Consumo}{100} \quad (\text{Ec. 6})$$

Consumo= Consumo de detergente anual (Ton/año)

$Carga_p$ = Carga de fósforo (Ton/año)

$$\%TPP = 3.96 * \%P \quad (\text{Ec.7})$$

$$Carga_{TPP} = 3.96 * Carga_p \quad (\text{Ec. 8})$$

$Carga_{TPP}$ = Carga de TPP (Ton/año)

Los resultados obtenidos para las muestras de detergentes se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 19. Resultados calculados de Fósforo en los detergentes

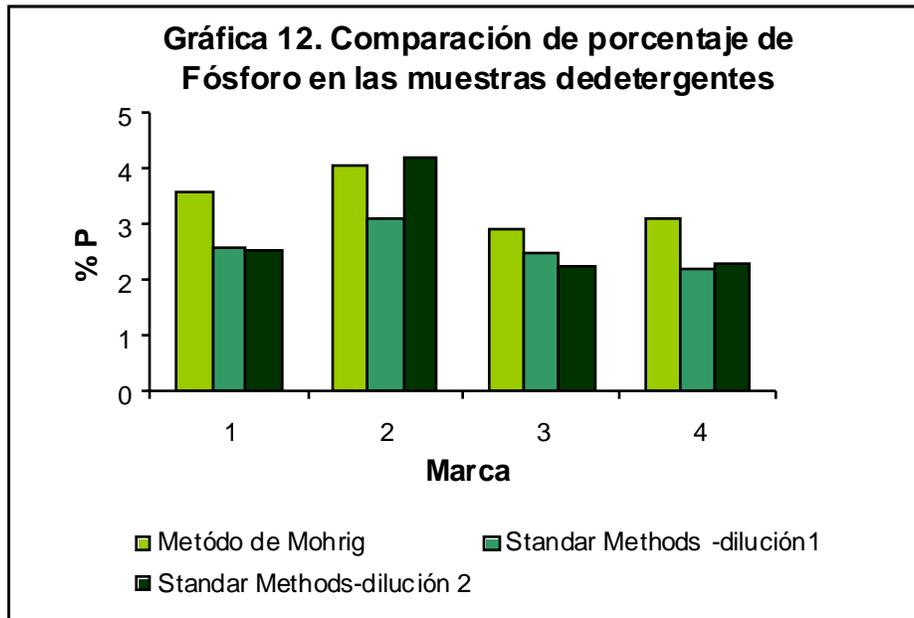
Método	Marca	Ecuación de la recta	C(mg/L)	F_{n-1}	F	%P	Carga P (Ton/año)	% TPP (3%P)	Carga TPP (Ton/año)
Mohrig	1	$y = 18.367x + 0.2315$	2.950	245.03	50	3.614	262.46	14.026	1039.352
	2		3.446	235.89		4.064	258.24	15.186	1022.612
	3		2.472	238.03		2.942	115.08	11.094	455.728
	4		2.527	246.11		3.110	62.89	12.124	249.034
Standar Methods dilución 1	1	$y = 81.163x$	29.462	1000.80	2	2.949	218.49	11.676	865.218
	1		22.888	1000.80		2.291	169.74	9.071	672.153
	2		33.439	998.80		3.340	224.91	13.226	890.641
	2		28.732	998.80		2.870	193.25	11.364	765.260
	3		24.592	994.43		2.446	100.46	9.684	397.833
	3		25.566	994.43		2.542	104.44	10.068	413.589
	4		23.213	1002.41		2.327	47.79	9.214	189.262
	4		20.778	1002.41		2.083	42.78	8.248	169.409
Standar Methods dilución 2	1	$y = 81.163x$	13.717	991.47	2	2.720	201.55	10.771	798.122
	1		11.850	991.47		2.350	174.12	9.305	689.502
	2		25.648	986.58		5.061	340.79	20.040	1349.512
	2		16.963	986.58		3.347	225.39	13.254	892.557
	3		10.551	994.04		2.098	86.17	8.307	341.239
	3		12.012	994.04		2.388	98.10	9.457	388.488
	4		12.580	982.13		2.471	50.76	9.785	200.994
	4		10.876	982.13		2.136	43.88	8.460	173.762

En la tabla 20, se muestra el resumen de los resultados y el promedio de los resultados obtenidos por Standar Methods, ya que las muestras utilizadas en este método tuvieron réplica.

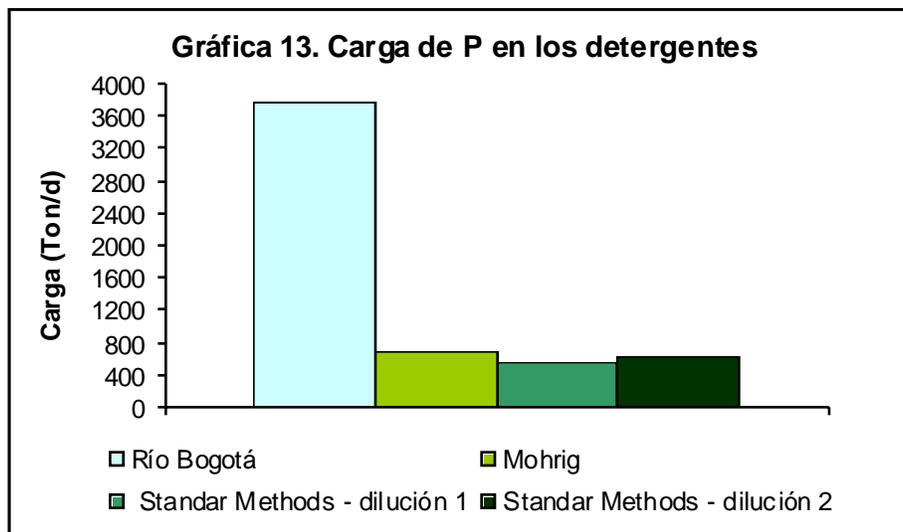
Tabla 20. Resumen de resultados de Fósforo en los detergentes

Método	Marca	%P	Carga P (Ton/año)	% TPP (3%P)	Carga TPP (Ton/año)	Carga P Total (Ton/año)	Carga TPP Total (Ton/año)
Mohrig	1	3.61	262.46	14.03	1039.35	698.67	2766.73
	2	4.06	258.24	15.19	1022.61		
	3	2.94	115.08	11.09	455.73		
	4	3.11	62.89	12.12	249.03		
Standar Methods	1	2.62	194.11	10.37	768.69	550.93	2181.68
	2	3.10	209.08	12.30	827.95		
	3	2.49	102.45	9.88	405.71		
	4	2.20	45.29	8.73	179.34		
Standar Methods	1	2.53	187.83	10.04	743.81	610.38	2417.09
	2	4.204	283.090	16.647	1121.03		
	3	2.24	92.14	8.88	364.86		
	4	2.30	47.32	9.12	187.38		

Con los datos de la tabla anterior se graficó el % de P obtenido cada método desarrollado para las diferentes muestras.



Al comparar la carga de Fósforo en las muestras de detergente y el río Bogotá, se obtuvo la siguiente gráfica.



A partir de la carga anual de fósforo en el río Bogotá cuando pasa por la ciudad y la carga que tiene el 80 % de los detergentes en polvo en Bogotá, se estima el porcentaje correspondiente de fósforo en los detergentes sobre el fósforo en el río. La estimación se realizó para cada método de medición con la siguiente ecuación:

$$\%P_D = \frac{Carga_D}{Carga_R} * 100$$

(Ec. 9)

Carga_D=Carga de P anual en los detergentes (Ton/año)Carga_R= Carga de P anual en el Río Bogotá= 3619.75 (Ton/año)

En la siguiente tabla se muestra los resultados obtenidos:

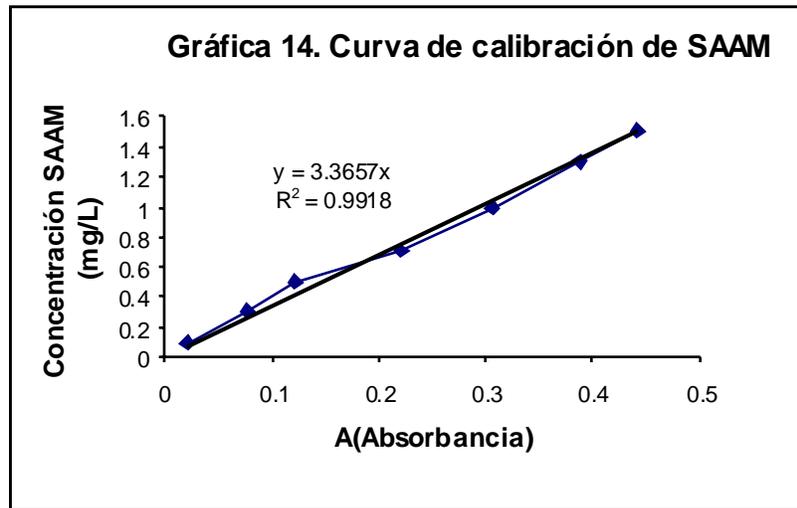
Tabla 21. Aporte del fósforo de los detergentes al Río Bogotá

Método	P/Ptotal*100 (%)	Promedio
Mohrig	18.57	16.481
Standar Methods dilución 1	14.65	
Standar Methods dilución 2	16.23	

9.3 RESULTADOS DE PORCENTAJE DE SAAM EN LAS MUESTRAS DE DETERGENTES

9.3.1 Curva de calibración

Para determinar el % de SAAM que tenían las muestras de detergentes fue necesario utilizar curva de calibración. La curva calibración utilizada fue la suministrada por el C.I.I.A. En la siguiente gráfica se muestra la curva de calibración obtenida, R² y la ecuación de la recta



9.3.2 Resultados de análisis de laboratorio

Los resultados de laboratorio se muestran en la siguiente tabla, donde se indica:

- Marca de la muestra de detergente.
- Peso de la muestra de detergente utilizada.
- Volumen de agua desionizada agregada a la muestra.
- Factor de dilución Fv/m.
- Factor de dilución (F) volumen-volumen.
- Absorbancia de la muestra.
- Ecuación de la curva de calibración

Tabla 22. Resultados de laboratorio de SAAM en los detergentes

Marca	C(mg/L)	Peso (gr)	Volumen (mL)	$F_{m/v}$	F	A	Ecuación
1	0.2323	1.04	1000.00	962.00	1000.00	0.069	$y = 3.3657x$
2	0.2626	1.03		971.16		0.078	
3	0.2559	1.02		981.84		0.076	
1	0.0463	0.25	250.00	997.21	1000.00	0.014	
1	0.0165	0.25		997.21		0.005	
2	0.0628	0.25		999.60		0.019	
2	0.1620	0.25		999.60		0.049	
3	0.3207	0.25		1000.80		0.097	
3	0.1752	0.25		1000.80		0.053	
4	0.0694	0.10	100.00	1000.00	100.00	0.021	
4	0.0727	0.10		1000.00		0.022	

A partir de la ecuación de la recta de la curva de calibración se calcularon las concentraciones, a través de la ecuación de la curva de calibración:

$$Y = 3.367 * X \quad (\text{Ec. 10})$$

Donde

X= A

Y= concentración de SAAM (mg/L)

De los resultados de obtenidos de C, se calculó el % de SAAM con la siguiente ecuación:

$$\%SAAM = \frac{C * F_{V/M} * F}{10000} \% \quad (\text{Ec. 11})$$

C= Concentración de SAAM (mg/L)

Fv/m = Factor volumen-masa (mL/g)

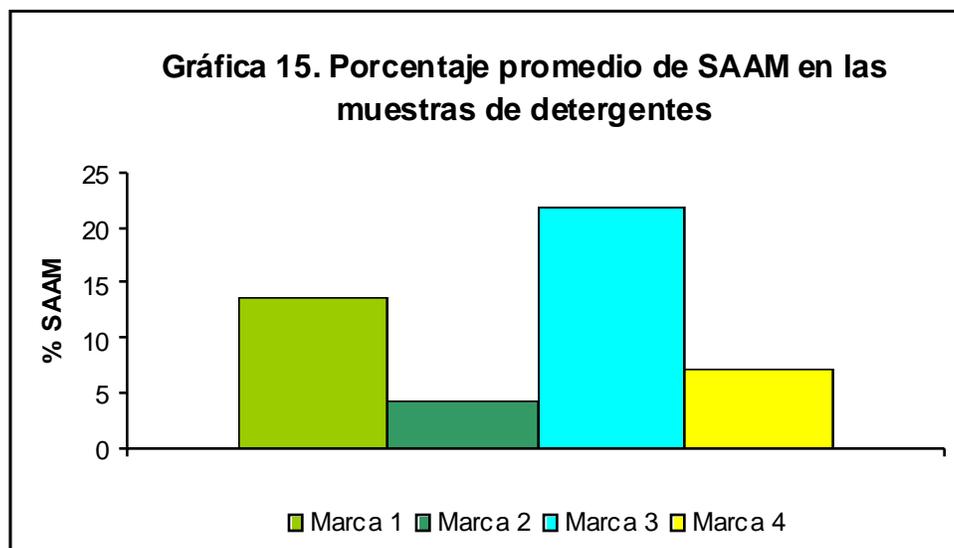
F= Factor de dilución

A cada muestra se le hizo replica, con el fin de garantizar un margen de error pequeño, y se calculó el promedio de los % de SAAM que se obtuvieron para cada muestra, a través de los % de SAAM calculados para cada muestra. Los resultados se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 23. Resultados calculados para SAAM en los detergentes

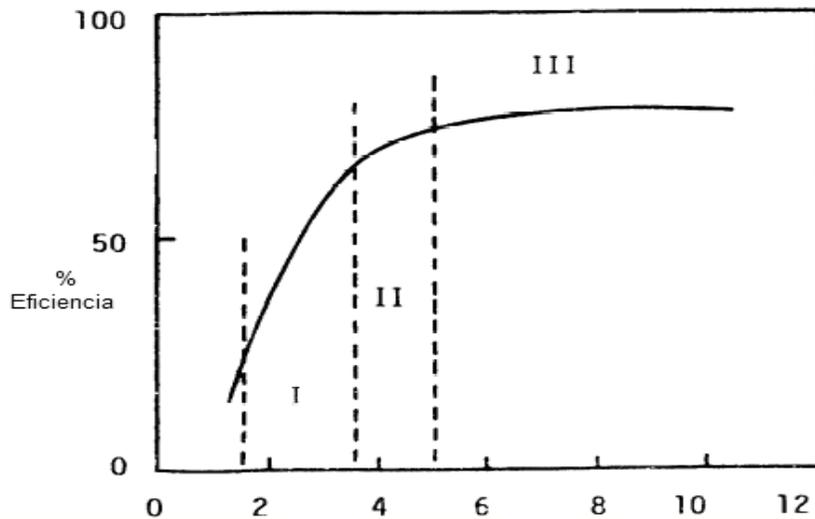
Marca	C(mg/L)	$F_{m/v}$	F	%SAAM	%PROMEDIO SAAM
1	0.2323	962.00	1000	22.349	13.618
	0.1400	971.16		13.596	
	0.0500	981.84		4.909	
2	0.0463	997.21	1000	4.616	4.181
	0.0165	997.21		1.648	
	0.0628	999.60		6.279	
3	0.1620	999.60	1000	16.194	21.942
	0.3207	1000.80		32.096	
	0.1752	1000.80		17.537	
4	0.0694	1000.00	1000	6.943	7.108
	0.0727	1000.00		7.274	

Al graficar los resultados promedios obtenidos de la tabla 23, se obtiene la siguiente gráfica:



9.4 Dureza del agua y eficiencia del detergente

A partir de la dureza total del agua potable se puede calcular el porcentaje de eficiencia de un detergente. En la siguiente figura, tomada de la Universidad Vasco se muestra una relación entre el % de eficiencia detergente en función de la concentración de Ca^{++} .

Gráfica 16. Porcentaje de eficiencia de un detergente y dureza cálcica

Fuente: Universidad Vasco

pCa, para la dureza del agua potable de Bogotá se calculó con la siguiente ecuación:

$$pCa = pCa = -\log[Ca^{++}] \quad (\text{Ec. 12})$$

$[Ca^{++}]$ = Concentración de aniones de calcio encontrado en el medio.

Para estimar la concentración de Ca^{++} se determina a partir de los datos de la dureza cálcica promedio encontrada y la dureza cálcica promedio máximo, con la siguiente ecuación:

$$[Ca^{++}] = \frac{D * P.E_{Ca^{++}}}{P.M_{Ca} * 1000 * P.E_{CaCO_3}} \quad (\text{Ec. 13})$$

D= Dureza total promedio mensual (mg/L $CaCO_3$)= 21,75mg/L $CaCO_3$, máx 55.24 mg/L $CaCO_3$

P.M= Peso molecular de Ca (gr/mol)= 40 gr/mol

$P.E_{CaCO_3}$ =Peso equivalente de $CaCO_3$ =50

$P.E_{Ca^{++}}$ =Peso equivalente de Ca^{++} = 20

Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 24. Concentración de Ca^{++} y pCa para el agua potable de Bogotá

	Dureza Cálctica (mol/L CaCO_3)	$[\text{Ca}^{++}]$ (mol/L)	pCa ($-\log \text{Ca}^{++}$)
Promedio	21.75	2.18E-04	3.66
Promedio máximo	55.24	5.5E-04	3.26

9.5 PORCENTAJE ÓPTIMO DE TPP EN UN DETERGENTE

Para determinar el % de TPP que debe tener un detergente que se utilice en las aguas de Bogotá, se utiliza la formula planteada por la Universidad de Navarra, para determinar la dosis optima. La formula es:

$$DosisA = \left(\frac{V * X}{Y} \right) \quad (\text{Ec. 14})$$

Dosis A= Dosis recomendada para el agente secuestrador (TPP) (mg/L)

V= Volumen de agua=1 L

X=Dureza total del agua (mgCaCO_3/L)= 55.24 mgCaCO_3/L

Y=Poder secuestrante del detergente ($\text{mgCaCO}_3/\text{mgTPP}$)

Y, se estima a partir de los pesos equivalentes de CaCO_3 y TPP (Ec. 15). X se determina de la dureza total promedio determinada en el capítulo 5.

$$Y = \frac{\text{mg} / \text{L}_{\text{CaCO}_3}}{\text{mg} / \text{L}_{\text{TPP}}} = \frac{\text{Pesoequivalente}_{\text{CaCO}_3}}{\text{Pesoequivalente}_{\text{TPP}}} = \frac{20}{74.6} = 0.26 \frac{\text{mg}_{\text{CaCO}_3}}{\text{mg}_{\text{TPP}}} \quad (\text{Ec. 15})$$

$$\text{Pesoequivalente}_{\text{CaCO}_3} = \frac{PM_{\text{CaCO}_3}}{N_{\text{cationes}}} = \frac{100}{5} = 20 \quad (\text{Ec. 16})$$

P.M= peso molecular CaCO_3 (gr/mol)

Número cationes TPP=5

$$P_{\text{soequivalente}}_{\text{TPP}} = \frac{P.M_{\text{TPP}}}{N_{\text{CATIONES-TPP}}} = \frac{368}{5} = 74.6 \quad (\text{Ec. 17})$$

P.M_{TPP}= peso molecular TPP (gr/mol)

Número cationes TPP=5

Al obtener X y Y se puede calcular la dosis recomendada para el TPP en el detergente

(DosisA) a partir de la ecuación 14

$$DosisA = \frac{1L * 55.24mgCaCO_3 / L}{0.26mgCaCO_3 / mgTPP} = 212.462 \frac{mgTPP}{L} \quad (\text{Ec. 18})$$

10. ANALÍISIS DE RESULTADOS

10.1 DETERMINACIÓN DE TPP EN LOS DETERGENTES

10.1.1 Hidrolización del Fósforo

Los resultados obtenidos de los ensayos de la determinación de P sin hidrolización del TPP se muestran en la Tabla 16, las muestras con diferentes diluciones de detergentes tienen una absorbancia de 0.002, similar al blanco, lo cual indica que no se determinó ninguna concentración de fósforo. Al analizar los resultados se muestran que el TPP debe ser hidrolizado, ya que el método utilizado es para aguas residuales y es un método colorimétrico, que se caracteriza por ser específico para el ion ortofosfato; forma como llega el fósforo de los detergentes a las aguas residuales. En los detergentes, el fósforo se encuentra en forma de TPP, lo cual hace necesario romper o hidrolizar este compuesto y liberarlo como ion fosfato, para ser determinado en el método escogido.

10.1.2 Interferencias en los ensayos de determinación de Fósforo en el laboratorio

En cuanto a las interferencias del método solo se hicieron pruebas con el antiespumante para descartar la posibilidad que podría interferir en el ensayo. En la tabla 17, se muestra los resultados de los ensayos hechos a un patrón de Fósforo, cuya concentración se conocía previamente. Se tomaron 2 muestras del patrón, una con antiespumante y otra sin antiespumante. La absorbancia leída en las muestras es igual en ambos ensayos, así como las concentraciones de fósforo, ya que son directamente proporcionales. Los resultados obtenidos demuestran que el antiespumante no interfiere en el ensayo, debido a que la concentración medida (3.72 mg/L) dio aproximadamente igual a la concentración conocida (4mg/L).

La agitación que se le realizó a cada muestra para homogenizarla, estuvo acompañada de calentamiento, como se dijo en la metodología experimental. La sílice y el borato pueden llegar a interferir si la muestra se calienta.

La sílice es el producto de la utilización de silicatos en los detergentes; se utiliza para evitar la corrosión de las lavadoras. El perborato o borato, es usado como agente blanqueador. En el método volumétrico de la NTC 545, las interferencias de la sílice y el perborato o borato se tienen en cuenta siempre y cuando el contenido de fósforo sea bajo. La sílice se deshidrata si la relación de sílice y P_2O_5 es mayor a 0.3 % (sílice/ P_2O_5 > 0.3). Cuando existe presencia de perboratos, a la muestra se le agrega metanol para garantizar su eliminación o convertir el perborato en un compuesto que no interfiera en el ensayo.

En la composición descrita en el empaque de las muestras de detergente utilizadas no se indica en ningún caso la presencia de perboratos, lo cual garantiza ensayos libres de interferencia por este compuesto.

En los detergentes de marcas 2 y 3 existe presencia de silicatos (ver tabla 4). La metodología utilizada no tiene en cuenta las interferencias causadas por los compuestos anteriormente descritos.

El método de Mohrig, no especifica interferencias en el ensayo. Mohrig indica que si se forman precipitados en el momento de la hidrolización de TPP, no es necesario que sean removidos, ya que no afectan la absorbancia leída de la muestra.

Standar Methods especifica las interferencias en el ensayo, y propone que si las muestras presentan una turbiedad después de la digestión ésta debe ser removida con carbón activado, para evitar que interfiera en el momento de la medición colorimétrica en el espectrofotómetro.

10.1.3 Comparación de resultados en las muestras de detergentes

En la literatura encontrada acerca de la hidrolización del TPP, se encontró que la hidrólisis puede lograrse a través de dos formas y con la variación de dos parámetros para cada una de aquéllas. La primera forma, es la hidrólisis en corto tiempo, pero con una cantidad significativa de ácido concentrado (H_2SO_4 , 98%). La segunda forma es dejar la muestra expuesta a calentamiento en un tiempo más largo, con una concentración de ácido baja y una menor cantidad de éste.

El método de Mohrig sigue la primera forma, con la diferencia que se utiliza H_2SO_4 concentrado al 15 % y con volumen de 25 mL de ácido. La muestra con el ácido previamente agregado se calienta por 30 minutos; en estas condiciones se garantiza la hidrolización del fósforo en el detergente (Mohrig). Standar Methods sigue la segunda forma; a la muestra se le agrega 1 mL de H_2SO_4 al 50%, y se hace digestión o hidrolización de TPP, hasta completar una reducción del volumen, desde la cantidad inicial hasta los 10 mL (Ver Anexo 5); esto se logra en un tiempo aproximado de 5 horas.

De acuerdo con los resultados obtenidos, se observa una concentración mayor de fósforo en las muestras del Standar Methods, que en las del método de Mohrig (Tabla 18). Esto se debe a que las diluciones empleadas y las longitudes de onda utilizadas en cada uno de los métodos son diferentes. En el segundo método se leyó a una longitud a 470 nm, utilizada para concentraciones de muestra entre 15-20 mg/L, y en el primero se utiliza a una longitud de onda de 400 nm, para concentraciones bajas, 0-5 mg/L.

En la tabla 18, se exhiben las concentraciones de fósforo calculadas para las muestras de detergentes, por Mohrig y Standar Methods. En este último, se muestra que en la primera dilución volumen-peso (F_{vm}), 1000 mL de agua

desionizada por 1 gr de detergente, se obtuvieron concentraciones mayores que en la de detección del método (0-20 mg/L). Las concentraciones de fósforo obtenidas por este método se salen de la curva de calibración, indicando que las muestras de detergentes deberían ser más diluidas para poder ser determinadas. A partir de estos resultados se diluyeron las muestras, obteniéndose concentraciones de P menores que las iniciales. En la tabla 18, en la columna de C (mg/L), aproximadamente la concentración en la primera dilución del Standar Methods es la mitad de los resultados obtenidos en la segunda dilución.

En la tabla 18 se puede observar, que la marca 2, contiene mayor concentración de P, en ambos métodos. En la tabla también se observa el % de P, que es aproximadamente igual en los tres métodos. Si se observa la gráfica 13, donde se grafica los porcentaje obtenido en los diferentes ensayos, se reafirma que la marca 2, contiene el % P más alto seguido de marca 1, 3 y 4. El % de P en las muestras oscila entre 2-4 % en los detergentes.

Al comparar el % de P promedio obtenido de la muestra de detergente en la marca 4, con ensayos realizados por los laboratorios de la Procuraduría Federal del Consumidor (PROFECO) en México a la misma marca, se obtuvo un % de P de fósforo similar. El % de P determinado por PROFECO fue de 5.8% de P_2O_5 , por relación estequiométrica, el % de P es 2.52%; el % de P calculado en los ensayos de laboratorio a la misma marca es de 2.47% P, éste resultado es el promedio de los resultados obtenidos. Aunque la fabricación de los detergentes se hace en países diferentes la industria que lo fabrica es la misma, lo cual se garantiza que la composición del producto es el mismo. A partir de la comparación, se puede tener más confianza de los resultados obtenidos.

De los resultados de la tabla 19 se observa que el % de TPP contenido en las muestras de detergentes bajo, ya que por relación estequiométricas se determinan la concentración de TPP en los detergentes (se multiplica el % de P por 3.96),

obteniéndose resultados de 10-20% de TPP. En la revisión bibliográfica hechase encontró que el porcentaje de TPP es de 20-25% (Tabla 1). Esto induce a analizar porque el % de TPP teórico encontrado en los detergentes es relativamente alto, a los porcentajes determinados en el laboratorio.

Se planteó dos hipótesis acerca de los resultados tan bajos del % de TPP: la primera que no se hidrolizo totalmente el TPP, porque hubo interferencias negativas que afectan el resultado final, como se dijo anteriormente, el Sílice; la segunda hipótesis es que realmente el % de TPP en los detergentes es bajo y se utiliza otro tipo de reforzador que ayude a actuar el TPP. La primera hipótesis no se pudo descartar ya que no se tuvo en cuenta las interferencias que se produjeran al calentar la muestra, sin embargo en el método empleado posiblemente estas no son interferencias significativas que hagan variar los resultados. Al comparara los resultados obtenidos con los resultados de la misma marca en otro laboratorio, la concentración de P coincide, lo cual puede indicar que las interferencias no son problemas en las mediciones.

La segunda hipótesis tampoco se descarta porque la composición que se lee detrás del empaque de cada muestra, no especifica que tipo de reforzador utilizan. Algunas muestras solo especifican reforzador con contenido de fósforo, como la muestra de marca 2, 3 y 4. Algunas muestras de los detergentes tienen carbonatos y silicatos que se utilizan como co-reforzadores en el agua, como se dijo en el capítulo 2, ayudando en su función al TPP, posiblemente esto ayuda a que no se necesite una gran cantidad de TPP en el detergente.

Al observar la gráfica 13, donde se muestra las cargas de P obtenidas en las diferentes muestras, las cargas de ambos métodos son relativamente similares, lo cual indica que uno u otro método no existe una gran diferencia. En método de Mohrig se obtuvo una carga de anual de 698.97 Ton; en el Standar Methods en la primera dilución de 550.93 Ton, y en la segunda dilución de 610.38 Ton. La carga

calculada de P en las muestras de detergentes, se determinó sumando las cargas anuales de P total para cada detergente en cada método.

Es importante aclarar que aunque los ensayos son solo para las marcas que dominan el mercado en la ciudad, las otras marcas no se encontraron concentraciones de P altas. En los ensayos preliminares realizados a todas las muestras, el % de P era de aproximadamente 2-4, ninguna muestra mostró un % de P alto.

10.2 RESULTADOS DE SAAM EN LAS MUESTRAS DE DETERGENTES

A partir de los resultados de la tabla 22, se puede determinar el % de surfactante aniónico de las muestras de detergentes. Esto se hace con el fin de analizar el porcentaje de tensoactivos que tienen los detergentes, cuya función es la de detergencia en la ropa.

La metodología aplicada para la determinación del surfactante es la propuesta por el Standard Methods a aguas residual. Las muestras de detergentes se diluyeron para poder ser determinada con la curva de calibración obtenida para aguas residuales. El F utilizado en las muestras es de 1.000.000.

Los surfactantes o tensoactivos aniónicos son componentes de la mayoría de los detergentes, y según datos encontrados se encuentran en un 12% en los detergentes (Tabla 1). Los resultados de los ensayos de las muestras para la determinación de los surfactantes se muestran en la tabla 22. Las muestra 1 y 4 presentan mayor LAS (Alquinbenceno Sulfonados de cadena Lineal), forma como se representa los surfactantes en el método utilizado, 13 % y 25%, respectivamente; mientras que las muestras 2 y 3 presentan solo un 4 y 7 % de este compuesto.

En la muestra 2 no solo el detergente presenta tensoactivo aniónico, sino también presenta tensoactivo catiónico. Este último es una interferencia negativa en el ensayo, lo cual explica el porque el % tan bajo de LAS.

Aunque los resultados obtenidos son los promedios de LAS en los ensayos realizados, vale la pena destacar que a todas las muestra se le realizó una replica, donde la variación entre resultado y resultado fue significativa.

Los surfactantes aniónicos están constituido por una cadena alquílica lineal o ramificada que va de 10 a 14 átomos de carbono, y en su extremo polar de la molécula se encuentra un anión (COO^- , $-\text{SO}_3^-$, $-\text{O}^-$, PO_3^{2-} etc); los más comunes son los derivados del ión sulfato o de sulfonatos como es el dodecil sulfato de sodio o dodecil benceno sulfonato de sodio y el alquil aril sulfato. En algunas de las muestras de detergentes se especifica al respaldo del empaque que tipo de surfactante se utiliza. La marca 3 y 4 utilizan alquil aril sulfatos, la marca 1 y 2 utiliza dodecil sulfato de sodio.

Dentro de la reformulación de los detergentes con respecto al TPP, no es relevante el porcentaje de tensoactivos que utilizan, ya que la cantidad de TPP agregada al detergente depende directamente de la dureza del agua (Universidad de Navarra). Según un estudio hecho por la Universidad de Navarra, al comparar la dosificación de reforzadores como de tensoactivos que tienen un detergente, se puede inferir si el detergente esta formulado para aguas blandas o si se tiene un exceso de tensoactivos en los detergentes, para poder relacionar esto se debe conocer la dosis del reforzador en función de la dureza del agua, dato que no se pudo conoce experimentalmente en las muestras de los detergentes, ya que los ensayos propuestos por la Universidad de Navarra, esta fuera del alcance de los laboratorios de Ingeniería Ambiental de la Universidad de los Andes.

10.3 RELACIÓN DE LOS DATOS DE CARGA DE FÓSFORO EN LOS DETERGENTES Y EN EL RÍO BOGOTÁ

Al comparar los resultados de carga de fósforo de los detergentes, con la carga de fósforo total que llega al Río Bogotá, se obtuvo que la carga de fósforo total en los detergentes es muchísimo menor que la que lleva el río a la salida de Bogotá (3719 Ton/año)(Gráfica 13). Esto se debe a que el fósforo total en el río Bogotá tienen en cuenta las diferentes formas de fósforo, y que es suministrada por otras fuentes diferentes a los detergentes en polvo. Para poder comparar el fósforo de los detergentes y verificar que es aproximadamente el que llega al río por los detergentes, es necesario tener datos de fosfatos sobre en el río Bogotá, en la ciudad.

A partir de la tabla 20, se infiere que casi la totalidad de los detergentes en polvo aportan aproximadamente 16 % de la carga de fósforo al río. Es necesario destacar que no todo el fósforo de los detergentes, llega a las aguas residuales, puede haber un porcentaje que llega a otro sitio de disposición, diferente a las descargas medidas.

Los resultados obtenidos muestran que los detergentes no son la fuente principal del fósforo en el Río Bogotá como se ha creído, permitiendo la posibilidad de pensar que existen otras fuentes las cuales aportan más fósforo que los detergentes. No obstante, un porcentaje bajo de fósforo no garantiza que estos no generen eutroficación en los cuerpos de agua. El fósforo de los detergentes al llegar a las aguas residuales se encuentran en ortofosfatos forma como lo captura las plantas.

Al comparar el % de fósforo por parte de los detergentes en las aguas residuales, con información encontrada para Europa, el % de fósforo de los detergentes en

Bogotá es alto. El porcentaje de carga de fósforo total en las aguas residuales en Europa por parte de los detergente es del 11% del fósforo total, el resto de cargas de fósforo a las aguas residuales son por fuentes humanas 24 %, la agricultura 49%, la industria 7 % y la erosión de las rocas 9% (CEEP, s.f.). Esto demuestra que es posible que haya fuentes de descargas de fósforo a las aguas residuales diferentes a los detergentes. Es importante recalcar que en los países Europeos el porcentaje de TPP en los detergentes ha disminuido, debido a que este compuesto es controlado o prohibido en algunos países (capítulo 1).

Si se compara los resultados de carga de P en los detergentes, con las descargas de fósforo total que recibe el Río Bogotá, los resultados de P calculados en los detergentes sigue siendo significativamente menores. Las descargas de fósforo al río se calcularon como la suma promedio de cada descarga de todas las campañas de medición, 3619.75 Ton/año, al relacionarlos con la carga de Fósforo anual, solo el 20%, aproximadamente, es debido a la utilización de los detergentes en polvo. Un porcentaje relativamente bajo al esperado, si se considera que en Bogotá el % de P en los detergentes no está normatizado.

10.4 RECOMENDACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA DE TPP EN LOS DETERGENTES

Con los resultados obtenidos de la tabla 23 y la gráfica 16 se reafirma lo que se dijo anteriormente, la eficiencia de los detergentes se ve afectado por la dureza del agua.

Al determinar la concentración de Calcio en el agua potable de Bogotá a través de la dureza total máxima promedio, se puede observar en la gráfica 13 que la eficiencia de los detergentes se encuentra en un % de 60 y 65% aproximadamente. La eficiencia obtenida es alta si se considera que la eficiencia detergente nunca es el 100%.

En la gráfica 16 se observa que a medida que disminuye la concentración de Ca^{++} , aumenta el porcentaje de eficiencia del detergente, es decir entre menos dureza cálcica tenga el agua, mayor es la eficiencia en el detergente.

Los resultados anteriores demuestran que para el lavado de la ropa en Bogotá se necesita poca cantidad de detergente para poder obtener buena de eficiencia de este, ya que el agua potable con que se lava es un buen aliado para la eficiencia del detergente.

En cuanto a la dosis óptima de TPP en los detergentes, la Universidad de Navarra recomienda la determinación de la dosis en función de la dureza del agua y $\text{mgCaCO}_3/\text{mgTPP}$ del detergente.

La dosis óptima de los detergentes se determinó a partir de la relación de pesos equivalentes entre el TPP y la dureza del agua, y a partir de esto y la fórmula de la Universidad de Navarra, se encontró que la dosis de TPP para los detergentes en Bogotá debe ser de 212.5 mg/L de lavado.

Al comparar con los resultados obtenidos se demuestra que el TPP se utiliza en una menor cantidad, lo cual lleva a inferir que el TPP para Bogotá es utilizado con otros co-reforzadores en los detergentes.

11. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con este proyecto se quiso cuantificar la carga de fósforo al Río Bogotá asociada con el uso de detergentes. A partir de los resultados obtenidos se determina que el TPP en las marcas de detergentes en polvo que más se venden en la ciudad, y que ocupa el 80 % del mercado, tiene un porcentaje bajo de TPP. Esto influye en que el fósforo suministrado al río Bogotá de relativamente bajo, 16%; lo cual hace considerar que existen otras fuentes de fósforo para el río Bogotá más relevantes que los detergentes. Sin embargo, los detergentes no deben pasar a un segundo plano, en cuanto a mitigación de fósforo en el río Bogotá, ya que el fósforo aportado por los detergentes, lo asimilan las plantas, aumentando la eutrofización en los cuerpos de agua.

Con este estudio se concluyó que los detergentes no representan una fuente muy contaminante, al obtener resultados bajos de TPP. Ese resultado, es un poco controversial, ya que se esperaría el porcentaje de TPP mayor, porque no está normatizado en la ciudad. Esto posiblemente se debe a que el TPP en los detergentes utiliza otro tipo de coreforzadores que le ayudan en su función, o en las mediciones se presentaron interferencias que no se tuvieron en cuenta.

En cuanto a la confiabilidad de los resultados se demostró que el fósforo determinado a una marca de detergente, coincidió con pruebas hechas en México a la misma marca. En cuanto a la metodología utilizada en la determinación, se escogió una para aguas residuales y otra exclusiva para detergentes, se obtuvieron resultados similares.

El porcentaje de tensoactivos medidos a los detergentes, presentó una alta variación, lo que indica una baja confiabilidad de los datos, posiblemente por interferencias en el ensayo no tenidas en cuenta. Sin embargo estos resultados no influenciaron en la determinación de fósforo a las muestras.

La dosis óptima estimada de TPP en los detergentes para el lavado en Bogotá es de 212.462 mg TPP por litro de lavado.

Se recomienda en futuros estudios, realizar varios ensayos a las muestras de determinación de fósforo por otros métodos, para comparar y tener una mayor confiabilidad de los datos, y conocer realmente que tipo de reforzador utilizan los detergentes en Bogotá. Dato que no se pudo acceder, ya que las industrias de los detergentes lo tienen como un secreto de fabricación.

Es necesario difundir entre los fabricantes de detergentes que la baja dureza del agua potable de Bogotá, clasificada como levemente dura, garantiza una mayor eficiencia en los detergentes. Los fabricantes deben especificar en su producto las cantidades de detergente óptimo de lavado, para que la gente se concientice que una mayor cantidad, no garantiza un mejor lavado. Así se disminuiría el consumo de detergentes y por lo tanto las descargas de estos al río. Se recomienda estimar la concentración de fosfatos en el Río Bogotá, para poder relacionarlo con la concentración de estos en los detergentes.

12. REFERENCIAS

Ainsworth, S.(1992). Soaps and Detergent. Journal of Chemical and engineering news. Vol. 70. No. 1. pp 27-63

Barrera, S.F. (1998). Introducción a la Problemática del Medio Ambiente, Bogotá, Colombia (pp. 236-243).: Universidad de los Andes.

Buldini, P., & Sharma, J.(1993). Determination of total phosphorus in soap/ detergents by ion chromatography. Journal of Chromatography A. Vol 654. pp129-134.

Camacho L.A (2005). Notas de clase de Modelación y Sistemas Medioambientales. Bogotá, Colombia.: Universidad de los Andes.

Camacho L. A, Diaz Granados M. A. y Giraldo E.(2002). Contribución al desarrollo de un modelo de calidad del agua. [on line]. Disponible en: <http://www.cirf.org/kyoto/colombia2.pdf>

Centre Européen d'Etudes des Polyphosphates (CEEP) & Thornton, C. (2003). Human & Environmental Risk Assessment on ingredients of European household cleaning products (HERA). Disponible en: <http://www.heraproject.com/files/13-HC-STPPHERAeutrophicationnote2003.pdf>

CEPIS (s.f). Impacto ambiental de productos químicos auxiliares usados en la industria textil argentina. Recuperado el 13 de octubre de 2005, del sitio web

de la Cepis, disponible en:

<http://www.cepis.org.pe/eswww/repamar/gtzproye/impacto/anexo2.html>

Davies, J., Andrews G., Miller, R. & Owen, G. (1973). Comparison of the Stannous Chloride and Vanadate Methods for Estimation of Serum Inorganic Phosphorus by Use of the "SMA 12/60". Journal de Clinical chemistry. Vol. 19. No. 4. pp 411-414

Determination of Total Phosphorus in Detergents by Atomic Absorption Spectroscopy (1972). Journal de Mikrochimica acta. Vol. 4. pp. 484-490

Detergentes con bajo contenido en Fosfatos. (s.f.). Recuperado el 14 de marzo de 2005, del sitio web de la Universidad del país Vasco, disponible en: <http://www.sc.ehu.es/iawfemaf/archivos/materia/industrial/libro-15a.pdf>

Determinación de fosfatos en aguas por espectrofotometría. (s.f.). (2004). Recuperado el 9 de agosto de 2005, del sitio web de la Universidad Pablo de Olavide, disponible en: http://www.upo.es/depa/webdex/quimfis/docencia/TAQ/TAQP1_0405.pdf

Hard Water—To Soften or Not to Soften. Water Quality in Kentucky (S.F.). Recuperado 2 de agosto de 2005, del sitio web, del College of Agricultura de University of Kentucky, disponible en: <http://www.ca.uky.edu/agc/pubs/ip/ip7/ip7.pdf>

Hodges, S.(2002).Methods of Phosphorus Analysis for Soils, Sediment, Residual, and Waters Southern Cooperative Series Bulletin No. # 396. North Carolina State University, 91-94. Disponible en: http://www.soil.ncsu.edu/sera17/publications/sera17-2/pm_cover.htm.

Jagendorf, A. T. 1973. Environmental Phosphorus Handbook. Griffith J E, Beeton A, Ithaca, New York Spencer J M & Mitchell D T (eds)

Knud Hansen.(1994). Historical perspective of the phosphate detergent conflict. University of Colorado. Recuperado el 23 de Noviembre de 2005, del sitio web de la Universidad de Colorado, disponible en:

http://www.colorado.edu/conflict/full_text_search/AICRCDOcs/94-54.htm

La Alcaldía efectiva que busca elementos que proporcione identidad al municipio de Soacha. (s.f.). Recuperado 28 de marzo de 2005, disponible en:

<http://www.eeb.com.co/contenido/archivos/accsoc/sistema%20bogota.pdf>

Low content of surface agent activities in the detergents EPA. Recuperado el 5 de abril de 2005, disponible en:

<http://www.ledizolv.com/LearnAbout/LedizolvCleaner/comparison.aspx><http://www.epa.gov/lead/clean.htm>

Longman, G. F.(1975).. The Analysis of detergent and detergent Products. Wiley (eds)

Mohring, J. (1972). An introductory Experiment on Phosphates in Detergents. Journal of chemical education. Vol. 49. pp 15-18.

Molybdovanadate Rapid Liquid Method (s.f). Recuperado el 23 de Julio de 2005, disponible en:

http://www.hach.com/fmmimghach?/CODE%3A5000_PHOSPHORUSREAC_8128%7C1

Murphy, S (2002). General Information on Phosphorus. Disponible en: <http://bcn.boulder.co.us/basin/data/NUTRIENTS/info/TP.html>

NTC 545 (2004). Jabones y detergentes. Definiciones generales. Bogotá, Colombia. Instituto Colombiano de Normas Técnica y Certificación (ICONTEC).

NTC 875 (1998). Jabones y detergentes. Determinación de fosfatos. Bogotá, Colombia. Instituto Colombiano de Normas Técnica y Certificación (ICONTEC).

NTC 1111 (1999). Jabones y detergentes. Determinación de la materia soluble en alcohol y del agente tensoactivo. Bogotá, Colombia. Instituto Colombiano de Normas Técnica y Certificación (ICONTEC).

Phosphate. (s.f). Recuperado el 1 de agosto de 2005, del sitio web de de Centre Européen d'Etudes des Polyphosphates, disponible en:

<http://www.ceep-phosphates.org/Files/Document/47/phosphateFile.pdf>

Pillay, M.(1995). Detergent phosphorus in south africa: impact on eutrophication with specific reference to the Umgeni Catchment Pollution (5-18). Recuperado del sitio web del departamento de ingeniería química de la Universidad de Natal, disponible en: <http://www.nu.ac.za/departament/data/WRC465exesum.pdf>

Resolución 28037 de Noviembre 12 de 2004, Superintendencia de Industria y comercio. Ministerio de Industria, Desarrollo y Comercio.

Rincón, N. C. (2005). Modelo hidráulico e hidrológico del río Bogotá cuenca alta y media. Bogotá, Colombia. Tesis Uniandes.

Saskatchewan Institute of Pedology (1989). Phosphorus cycles in terrestrial and aquatic ecosystems (214-219). H. Saskatoon, Canada .:Tiessen

Sierra, H.J. (1982). Análisis de aguas y aguas residuales. Medellín, Antioquia.: Universidad de Antioquia

Skipton, S., Jasa, P. & Dvorak, B.(2004). Drinking Water: Hard Water. Disponible en: <http://ianrpubs.unl.edu/water/g1274.htm>

Sodium Tripolyphosphate (s.f).Recuperado el 5 de agosto de 2005, del sitio web de Chemical land, disponible en:

<http://www.chemicalland21.com/arokorhi/industrialchem/inorganic/STPP.htm>

Spangler W.G.(1972).Detergency:Theory and Test methods, part I. Cutler, W.G.,Davis, R.C., (Eds).

Tamayo, R., O. & Lomelí, R.G.(s.f). Contaminación por detergentes. Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado el día 18 de agosto de 2005, del sitio web de en http://www.sagan-gea.org/hojared_AGUA/paginas/20agua.html

Toralballa, G., Spielholtz, G., & Steinberg, R. (1971). Determination of Total Phosphorus in Detergent by Atomic Absorption Spectroscopy. *Microchimica Acta*. Vol 4. pp. 484-49

The chemical components of detergents and their roles in the washing process:Types of laundry products. (s.f). Recuperado el 22 de agosto de 2005, del sitio del Web Soap and Detergent Association (SDA), disponible en:

http://www.cleaning101.com/laundry/fact/fact_sheet2.html

The chemical components of detergents and their roles in the washing process (s.f). Recuperado el 15 de agosto de 2005, del sitio web del Centre de Eurpeen d'Estudes des Polyphosphates(CEEP), disponible en:

<http://www.ceep-phosphates.org/Files/Document/30/detergentCompWithFunct.pdf>

United Nations.(1992). Substitutes for Tripolyphosphate in Detergents (2-15). New York, United Nations.: United Nations

Universidad de Chile. Facultad De Ciencias Físicas y Matemáticas (1965). Calidad del agua potable: su relación con el tratamiento químico y las normas actualmente en uso.

ANEXOS

ANEXO 1. Sistemas de distribución de agua potable en Bogotá

Los sistemas que surten y distribuyen el agua a la ciudad de Bogotá son: el Sistema Chingaza - Planta de Tratamiento Wiesner, el sistema Río Bogotá - Planta de Tratamiento Tibitoc y el Sistema Chisacá / La Regadera - Plantas de Tratamiento La Laguna y Vitelma.

1. El Sistema Chingaza - Planta de Tratamiento Wiesner: cubre la zona central y norte del piedemonte. Surte las redes matrices de distribución de las siguientes zonas:

a. Zona Nororiental (calle 114 – calle 193): comprende las redes que abastecen el sector localizado al oriente de la carrera 7, entre calles 114 y 193, y los tanques de almacenamiento del Codito, Cerro Norte, Los Pinos, Bosque Medina, el Pañuelo, Santa Ana y los tanques Nororientales.

b. Zona Oriental (calle 100 - calle 48): comprende las redes que abastecen el sector localizado al oriente de la carrera 7, entre calles 100 y 48, y los tanques de almacenamiento de El Chico, El Seminario, Paraíso I y II, Pardo Rubio I, II y III.

c. Zona Oriental (calle 48 – Vitelma): comprende las redes que abastecen el sector localizado al oriente de la carrera 10, entre calles 48 y Vitelma, y los tanques de almacenamiento El Silencio, Parque Nacional, San Diego, Vitelma, Egipto, El Consuelo, Lourdes, San Dionisio y San Dionisio Rehabilitación.

d. Zona Sur-Oriente (Vitelma hasta Juan Rey): comprende las redes que abastecen el sector localizado al sur oriente de la ciudad desde Vitelma hasta Juan Rey, y los tanques de abastecimiento de San Vicente, Alpes, Quindío, Juan Rey, Columnas, Pinos, Alpes Rehabilitación y Yomasa.

2. El sistema Chisacá / La Regadera - Plantas de Tratamiento la Laguna y Vitelma que cubre la zona sur de la ciudad. Surte las redes matrices de distribución de las siguientes zonas:

a. Zona de Usme: comprende las redes que abastecen el sector urbano de Usme, y los tanques de almacenamiento de La Laguna, El Uval, Monteblanco, Piedra Herrada, La Fiscala, El Paso, Los Soches, El Mochuelo y El Dorado.

b. Zona de Ciudad Bolívar: comprende las redes que abastecen la zona oriental de Ciudad Bolívar y los tanques de abastecimiento de Jalisco, Castillo, El Volador, Quiba, Los Alpes, Casablanca, Sierra Morena I y II, El Cielo, Doña Juana y El Rincón.

3. El Sistema Río Bogotá - Planta de Tratamiento Tibitoc, que cubre el occidente y norte de la ciudad. Surte las redes matrices de distribución de las siguientes zonas:

a. Zona Occidental: comprende las redes que abastecen el sector occidental de la ciudad, comprendida entre la calle 80 y la Autopista Sur, el Río Bogotá y aproximadamente la Carrera 60. Esta red atiende las zonas de Engativá, Fontibón y Tintal Central. Es alimentada por el tanque de almacenamiento de Casablanca (localizado en Ciudad Bolívar) y por el de Tibitoc.

b. Zona de los Cerros de Suba: comprende las redes que abastecen el sector de los cerros Norte y Sur de Suba y los tanques de almacenamiento Alto e Intermedio

c. Zona de Suba: comprende las redes que abastecen el sector de Suba localizada entre la autopista Norte y el río Bogotá, la calle 193 y la calle 80, excepto el sector de los cerros de Suba y el tanque de almacenamiento de Suba. Zona Norte: comprende las redes que abastecen el sector Norte comprendido entre las calles 100 y 193, y la carrera 7 y la Autopista Norte..

ANEXO 4. Datos de fósforo en el Río Bogotá

Estación	Abscisado(Km)	Fósforo Total (mg/L)					Fósforo Soluble (mg/L)				
		Fósforo Total C-1(mg/L)	Fósforo Total C-2(mg/L)	Fósforo Total C-3(mg/L)	Fósforo Total C-4(mg/L)	Fósforo Total C-5(mg/L)	Fósforo Soluble C-1 (mg/L)	Fósforo Soluble C-2 (mg/L)	Fósforo Soluble C-3(mg/L)	Fósforo Soluble C-4(mg/L)	Fósforo Soluble C-5 (mg/L)
Vuelta Grande	K 160+915		1.05	2.11	1.35	0.17	0.65	0.10	1.95	0.46	0.17
By Pass Juan Amarillo	K 161 + 454		7.17	0.76	2.69	1.72	4.13	4.41	0.48	1.96	1.62
Canal Agua tratada	K 161 + 792	3.96	8.21	1.61	2.15	0.98	3.40	1.53	0.54	1.10	0.79
El Cortijo	K 161 + 337	1.73	1.92	2.58	2.31	0.22	1.65	1.09	0.54	1.35	0.20
Engativa	K 164 + 624		3.33	6.50	2.43			6.28	2.68	3.50	2.37
Jaboque	K 166 + 199		2.13	1.42	1.01	0.71		0.62	0.72	0.41	0.53
Hda. San Fco	K 177 + 999	1.31	4.49	1.07	3.34	1.05	1.30	1.17	0.53	1.70	1.00
Rio Fucha	K 178 + 789	5.91	5.57	3.54	5.18	1.23	5.84	4.18	2.78	3.10	1.10
B. Fontibon			5.62	7.35	4.35				4.97	6.36	1.08
A. Arr. Saucedal II	K 180 + 539	3.45	3.29	1.06	3.85	4.70	3.38	1.31	1.06	2.29	4.50
B. Patio Bonito	K 180 + 967		1.32						1.26		
B. Gibraltar	K 182 + 777		2.72	8.25	4.81	7.36		0.80	7.73	4.70	
La Isla	K 192 + 340	2.83	3.07	2.44	4.37	1.75	2.69	1.18	1.93	4.24	1.31
Tunjuelo	K 192 + 858	1.25	1.37	1.69	5.55	1.74	1.16	0.51	0.94	5.38	1.64
Soacha I	K 202 + 028		3.80	3.35	1.23			3.42	2.83	1.04	
Soacha II	K 202 + 028		5.15	5.52	5.71	5.89		3.68	4.76	1.03	
Huertas	K 202 + 908	2.88	2.73	2.28	4.34	1.61	2.77	1.64	1.57	2.79	0.90
Colector Soacha I	K 205 + 850		4.55	5.68	2.89	6.77		1.71	4.25	2.39	
V. Mondoñedo	K 212 + 950	2.47	4.30	2.16	4.95	0.89	2.33	1.46	1.49	4.67	0.85

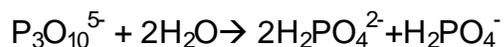
Estación	Abscisado(Km)	Caudal (m3/s)				
		Campaña 1	Campaña 2	Campaña 3	Campaña 4	Campaña 5
Vuelta Grande	K 160+915	1.90	13.02	2.32	8.75	25.74
By Pass Juan Amarillo	K 161 + 454	2.01	2.77	3.66	4.19	0.94
Canal Agua tratada	K 161 + 792	3.45	3.50	2.82	4.00	4.16
El Cortijo	K 161 + 337	15.85	18.18	14.90	16.94	29.38
Engativa	K 164 + 624		0.16		0.17	NA
Jaboque	K 166 + 199		18.35		17.13	37.12
Hda. San Fco	K 177 + 999	16.90	17.06	13.90	17.11	56.00
Rio Fucha	K 178 + 789	9.89	5.39	6.97	4.47	6.52
B. Fontibon		1.05	0.55	0.40	0.94	1.73
A. Arr. Saucedal II	K 180 + 539	21.25	26.00	18.25	22.98	46.31
B. Patio Bonito	K 180 + 967	0.23	0.11	0.07	0.06	0.07
B. Gibraltar	K 182 + 777	0.15	0.19	0.19	0.53	0.00
La Isla	K 192 + 340	23.00	27.35	16.31	22.90	46.38
Tunjuelo	K 192 + 858	4.88	10.73	3.79	4.15	19.35
Soacha I	K 202 + 028	0.06	0.82	0.38	0.00	1.50
Soacha II	K 202 + 028	0.22	0.28	0.16	0.18	0.49
Huertas	K 202 + 908	29.77	51.83	21.88	27.24	70.09
Colector Soacha I	K 205 + 850	3.58	0.04	0.07	0.22	0.42
V. Mondoñedo	K 212 + 950	65.81	65.81	15.99	32.76	112.94

ANEXO 5. Procedimiento del método de ácido vanomolibdofósforico según Mohrig

1. Hidrólisis de Tripolifosfato

La determinación de de fosfatos en los detergentes requiere la hidrólisis de los componentes pirofosfatos y triólfosfatos. La hidrólisis realizada se basa en la hidrólisis ácida del fosfato para convertirlo en ortofosfato, para posteriormente reaccionar con el Amonio vanamolibdato.

Un gramo de detergente en 25 mL de H₂SO₄ al 15%, se calienta por 30 minutos, así se garantiza una hidrólisis del tripolifosfosfato (Mohrig).



Al detergente se le adiciona 1 0 2 gotas de anti-espumante viscoso, al 40%, antes de agregar el H₂SO₄, con el fin de garantizar que no haya perdidas por espuma acida formada. Después se deja ebulir por 90 minutos y se debe mantener constante el volumen de la solución, agregando suavemente agua destilada. Cuando la solución se enfrié, agregar 1 gota de agente espumante emulsificado. Tomar 2 mL de la muestra y diluirla a 100 mL.

2. Desarrollo de color de la muestra

Se toma 10 mL de la muestra de detergente hidrolizado y se le agrega 5 mL de solución Amonio Vanamolibdato, se espera de 4-8 minutos que la reacción se desarrolle, la reacción es irreversible. Después se debe leer en el espectrofotómetro a 470 nm, tanto el blanco como la muestra. Para tener certeza en las pruebas hechas siempre se toma un patrón con concentración conocida, y se somete el mismo procedimiento de la meustra, para medir posteriormente su concentración y compararla con la concentración conocida.

3. Preparación de la curva de calibración

La curva de calibración se prepara usando volúmenes apropiados de la solución patrón y agregando un alícuota de muestra del mismo volumen, y se somete a hidrólisis, para luego desarrollar el color de la muestra.

**ANEXO 6. Procedimiento del método de ácido vanomolibdofósforico según
Standar Methods**

Lavar todo el material utilizado para este ensayo con HCl 1 + 1.

Tomar 100 mL de la muestra ó dilución a 100 y agregar una gota de fenolfataleina si se torna rosa agregue solución de ácido sulfúrico hasta que desaparezca el color. Luego adicione 1mL más de solución de H₂SO₄ y 0.4 de persulfato de amonio sólido. Reducir volumen a 10 ml. Enfriar, agregar 20 mL con agua destilada. Agregar una gota de Fenolftaleina, neutralizar con NaOH 8N a un rosado suave. Calentar por 30 minutos en plancha, enfriar, adicionar una gota de fenolftaleina y neutralizar a un color rosa tenue con NaOH. Si se forma un precipitado no filtrar, este puede ser de fosfato de calcio. Cuando se determine el fósforo final se redisuelve en condiciones ácidas. Neutralice con HCl 1 + 1. Aforar a 100 mL.

Remoción del color: a 50 mL de muestra agregue 200 mg de carbón activado en un erlemeyer por 5 minutos luego filtre (whatman 42 o equivalente), para cada bache de muestra realice un blanco. Tomar 35 mL de este aforado y 10 mL del fosfovanadio molibdato y se afora a 50 mL y pasar a lectura a 400 nm, 415 0 470.

ANEXO 7. Procedimiento de la metodología del Standar Methods para la determinación de Sustancias Activas al Azul de Metileno

1. Preparación de la curva de calibración

Preparar una serie de 10 embudos de separación con 0,100, 3,00, 5,00, 7,00, 9,00, 11,00, 13,00, 15,00, y 20,00mL de solución estándar LAS. Adicionar suficiente agua destilada hasta ajustar un volumen total de 100 mL en cada embudo de separación. Tratar cada patrón como se describe a continuación y trazar una curva de calibración.

2. Apareo de iones y Extracción:

- 1) Adicionar la muestra a un embudo de separación. A la muestra se debe llevar a pH alcalino, mediante la adición gota a gota de NaOH 1,0N, usando fenolftaleina como indicador. Luego adicionar gota a gota H_2SO_4 1,0N.
- 2) Adicionar 10 mL de CHCl_3 y 25 mL de reactivo de azul de metileno. Agitar vigorosamente en forma oscilatoria, por 30 segundos y dejar que las fases se separen. Una agitación excesiva puede causar dificultades debido a la formación de una emulsión. Para romper la emulsión adicionar una pequeña cantidad de alcohol isopropilico (<10mL), adicionar el mismo volumen de alcohol isopropilico a todos los estándares. Algunas muestras requieren un largo período para la separación de las dos fases. Antes de drenar la capa de CHCl_3 dar vuelta suavemente y dejar que se asiente.
- 3) Drenado de la capa CHCl_3 en un segundo embudo de separación y lavar el tubo de descarga del primer embudo con una pequeña cantidad de CHCl_3 . Repetir la extracción dos veces, utilizando 10mL de CHCl_3 cada vez. Si el color azul de la fase acuosa se desvanece o desaparece, se debe descargar la muestra y repetir la determinación usando un volumen menor de muestra.
- 4) Combinar todos los extractos de CHCl_3 en el segundo embudo de separación. Adicionar 50 mL de solución de lavado y agitar vigorosamente

por 30 segundos. Dejar sedimentar, agitar y drenar la capa de CHCl_3 a un matraz volumétrico de 100 mL. Se extrae la solución de lavado por dos veces con 10 mL de CHCl_3 en cada extracción se debe recibir cada capa de CHCl_3 en el mismo matraz volumétrico. Enjuagar la fibra de vidrio y el embudo de separación con CHCl_3 recogiendo los lavados en el matraz volumétrico. Diluir hasta la marca de CHCl_3 y mezclar bien.

ANEXO 8. Datos obtenidos de P y TPP en detergentes por el método de Mohrig y Standar Methods

concentración (mg/L)	Metodo	Longitud de Onda (nm)	Absorbancia del blanco- Absorbancia de la muestra
b			
4	adición	400	0.405
8			0.352
12			0.464
16			0.504
20			0.901
b			
4	adición	415	0.317
8			0.327
12			0.374
16			0.449
20			0.727
b			
4	adición	470	0.152
8			0.217
12			0.168
16			0.19
20			0.268
b			
4	Mohrig	470	0.166
6			0.288
8			0.091
12			0.091
16			0.231
b			
0	Mohrig	470	0.035
0.8			0.001
1.6			0.002
2.4			0.013
3.2			0.022
4	0.034		
4	0.12		
b			
0	Mohrig	400	0
0.96			0.036
2			0.098
4			0.198
4.96			0.247
6	0.307		
8	0.437		
b			
0	Mohrig	415	0
0.96			0.029
2			0.068
4			0.136
4.96			0.178
6	0.219		
8	0.306		
B			
0	Mohrig	470	0
0.96			0.007
2			0.02
4			0.042
4.96			0.055
6	0.062		
8	0.092		
4	Standar methods	470	0.05
5			0.06
7.5			0.094
10			0.121
15			0.185
20	0.247		