

IDENTIFICACIÓN DE LOS POSIBLES USOS DEL AGUA LLUVIA DE  
ESCORRENTIA EN EL CAMPUS DE LA PONTIFICIA UNIVERSIDAD  
JAVERIANA (BOGOTÁ)



Presentado por:  
OSCAR MAURICIO TORRES MURILLO

Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Civil

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

BOGOTÁ D.C.  
ENERO DE 2011



Presentado por:

OSCAR MAURICIO TORRES MURILLO  
C.C.: 1.020.719.826 de Bogotá D.C.

Director:  
ANDRÉS TORRES ABELLO  
I.C., M.S.C., P.H.D.

Evaluador:  
CARLOS ALBERTO DEVIA

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

BOGOTÁ D.C.  
ENERO DE 2011

## **AGRADECIMIENTOS**

Finalizada esta importante etapa de mi vida, mi formación de pregrado, quiero manifestar mis más sinceros agradecimientos a quienes activamente participaron en el desarrollo de esta tesis, así como a quienes con su decidido apoyo y permanente compañía hicieron posible este logro, que desde el punto de vista personal, requirió de mucho esfuerzo y dedicación.

A Dios, por estar conmigo en cada paso de mi vida, por darme la oportunidad de estudiar y conocer a muchas personas que me ayudaron en mi formación como Ingeniero Civil, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y permitir que se dieran muchas otras cosas que han dejado huella imborrable en mi vida.

A mi querida familia, porque sé que han buscado siempre mi bienestar, a mis padres, Mireya y Mauricio por darme la valiosa oportunidad de culminar mis estudios y brindarme, junto a mis hermanas Diana, Valeria y Vanessa todo su apoyo, colaboración y amor sin ningún interés a cambio.

A mi director de tesis, el Ingeniero Andrés Torres, así como al Laboratorista Carlos Quitiaquez quienes creyeron en mí y me aportaron desinteresadamente sus conocimientos y orientación, aprendizaje que he querido plasmar fielmente en estas páginas.

A Catalina, por ser la persona que ha compartido conmigo los aciertos y tropiezos en la realización de esta tesis, por estar siempre a mi lado, por darme con su amor la fuerza necesaria cuando pensé caer y por mostrarme con su entusiasmo y ánimo la dirección para seguir adelante con este proyecto.

Un agradecimiento especial al Ingeniero Andrés Torres por su colaboración, enseñanzas, paciencia y apoyo que nunca faltaron, y sobre todo por esa gran amistad que siempre me brindó.

A la Pontificia Universidad Javeriana sede Bogotá por su inestimable respaldo para llevar a feliz término mi trabajo de grado.

A mis amigos por su confianza, lealtad y apoyo incondicional.

Gracias a todos y que Dios los siga bendiciendo,

Oscar Torres.

## Tabla de contenido

1. INTRODUCCIÓN.....	13
2. MARCO TEÓRICO .....	16
2.1. Aprovechamiento del agua lluvia.....	16
2.1.1. Recuento histórico.....	16
2.1.2. Estado del arte.....	19
2.1.3. Experiencias en Colombia.....	21
2.2. Contaminantes presentes en la escorrentía urbana.....	23
2.2.1. Tipos de contaminantes e implicaciones.....	23
2.2.2. Origen de los contaminantes.....	30
2.3. Análisis estadístico.....	36
2.3.1. Análisis de incertidumbres asociadas.....	36
2.3.2. Método de Montecarlo .....	39
2.3.3. Teoría de clúster.....	41
2.3.4. Análisis de varianza Anova.....	41
2.3.5. Análisis por T-Tes.....	42
2.3.6. Diagrama de cajas.....	43
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	45
3.1 Campus de la Pontificia Universidad Javeriana sede Bogotá (PUJB) .....	45
3.1.1 Descripción del Campus.....	45
3.1.2 Usos y cantidad del agua en el campus universitario.....	47
3.2 Experimentación en campus.....	48
3.2.1 Puntos de muestreo.....	48
3.2.2 Metodología para la toma de muestras.....	50
3.3 Experimentación en el Laboratorio .....	51
3.3.1 Ensayos para cada punto de muestreo .....	52
3.3.2 Normas para los ensayos realizados en los Laboratorios .....	55
3.4 Normas de calidad del agua para los diferentes usos.....	57
3.5 Herramientas para el análisis de resultados.....	57
3.5.1. Descripción de MatLab.....	57
3.5.2. Programas utilizados.....	58

---

3.5.2.1.	Cálculo de incertidumbres asociadas .....	58
3.5.2.2.	Agrupación por medio de clúster .....	58
3.5.2.3.	Análisis de Anova .....	59
3.5.2.4.	Análisis de T-Test .....	59
4.	RESULTADOS .....	61
4.1.	Resultados de las pruebas de laboratorio en bruto .....	61
4.2.	Análisis de Resultados .....	63
4.2.1	Incertidumbres .....	63
4.2.2	Comparación gráfica con las normas EPA, CE y Colombiana .....	73
4.2.3	Análisis de agrupación por clúster .....	117
4.2.4	Análisis de Anova .....	120
4.2.5	Análisis por T-Test .....	122
4.2.6	Análisis económico .....	123
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	126
6.	REFERENCIAS .....	130
	ANEXOS .....	139

## Lista de Tablas

Tabla 1. Contaminantes inorgánicos comunes que causan enfermedades no infecciosas.....	27
Tabla 2. Contaminantes orgánicos comunes que causan enfermedades no infecciosas.....	28
Tabla 3. Efectos de los microorganismos en la salud.....	29
Tabla 4. Concentraciones de algunos contaminantes en los diferentes vertimientos urbanos..	32
Tabla 5. Concentraciones medias de vertimientos pluviales separativos en función de la Urbanización.....	33
Tabla 6. Características de las aguas urbanas con base en contribuciones per cápita de aguas domésticas.....	33
Tabla 7. Valores representativos de contaminantes en aguas urbanas.....	34
Tabla 8. Concentraciones medias en metales para diferentes tipos de VUTL.....	35
Tabla 9. Concentraciones de Hidrocarburos en VUTL.....	35
Tabla 10. Órdenes de magnitud de polución bacteriológica de los VUTL.....	36
Tabla 11. Usos del agua en el campus de la PUJB.....	47
Tabla 12. Metodología de Toma de Muestras para cada punto .....	51
Tabla 13. Batería Completa de ensayos realizados en el Laboratorio de Pruebas y Ensayos del Departamento de Ingeniería Civil de la PUJB.....	52
Tabla 14. Batería Alterna de ensayos realizados en el Laboratorio de Pruebas y Ensayos del Departamento de Ingeniería Civil de la PUJB.....	53
Tabla 15. Fecha de toma de muestras para todos los puntos.....	54
Tabla 16. Norma guía para realizar los ensayos en todos los laboratorios.....	56
Tabla 17. Resultados de ensayos microbiológicos.....	62
Tabla 18. Fechas de campañas para los puntos de muestreo.....	62
Tabla 19. Resultados de incertidumbres de los ensayos de calidad de agua lluvia de escorrentía para el punto 1 (Dren Principal del campo de Fútbol) (NR: no realizado, Nd: no detectado, NC: no calculada).....	64

---

Tabla 20. Resultados de incertidumbres de los ensayos de calidad de agua lluvia de escorrentía para el punto 2 (Canal Nor-Oriental del campo de Fútbol) (NR: no realizado, ND: no detectado, NC: no calculada).....	65
Tabla 21. Resultados de incertidumbres de los ensayos de calidad de agua lluvia de escorrentía para el punto 3 (Canal Sur-Oriental del campo de Fútbol) (NR: no realizado, ND: no detectado, NC: no calculada).....	66
Tabla 22. Resultados de incertidumbres de los ensayos de calidad de agua lluvia de escorrentía para el punto 4 (Descarga directa de la Cubierta del Ed. de Parqueadero) (NR: no realizado, ND: no detectado, NC: no calculada) .....	67
Tabla 23. Resultados de incertidumbres de los ensayos de calidad de agua lluvia de escorrentía para el punto 5 (Caja recolectora Sótano del Ed. de Parqueadero) (NR: no realizado, ND: no detectado, NC: no calculada).....	68
Tabla 24. Resultados de incertidumbres de los ensayos de calidad de agua lluvia de escorrentía para el punto 6 (Cubierta del Ed. Facultad de Ingeniería) (NR: no realizado, ND: no detectado, NC: no calculada).....	69
Tabla 25. Resultados de incertidumbres de los ensayos de calidad de agua lluvia de escorrentía para el punto 7 (Cubierta del Ed. Fernando Barón) (NR: no realizado, ND: no detectado, NC: no calculada).....	70
Tabla 26. Resultados de incertidumbres de los ensayos de calidad de agua lluvia de escorrentía para el punto 9 (Cubierta del Ed. Taller de Arquitectura) (NR: no realizado, ND: no detectado, NC: no calculada) .....	71
Tabla 27. Resultados de incertidumbres de los ensayos de calidad de agua lluvia de escorrentía para el punto 10 (Sumidero del Ed. Facultad de Psicología) (NR: no realizado, ND: no detectado, NC: no calculada).....	72
Tabla 28. Abreviatura de los puntos de muestreo para los gráficos.....	73
Tabla 29. Resultados punto 1, que no cumplen con estándares de calidad (CP: cumple parámetro).....	107
Tabla 30. Resultados punto 2, que no cumplen con estándares de calidad (CP: cumple parámetro).....	108
Tabla 31. Resultados punto 3, que no cumplen con estándares de calidad (CP: cumple parámetro).....	109
Tabla 32. Resultados punto 4, que no cumplen con estándares de calidad (CP: cumple parámetro).....	110

Tabla 33. Resultados punto 5, que no cumplen con estándares de calidad (CP: cumple parámetro).....	111
Tabla 34. Resultados punto 6, que no cumplen con estándares de calidad (CP: cumple parámetro).....	112
Tabla 35. Resultados punto 7, que no cumplen con estándares de calidad (CP: cumple parámetro).....	113
Tabla 36. Resultados punto 9, que no cumplen con estándares de calidad (CP: cumple parámetro).....	114
Tabla 37. Resultados punto 10, que no cumplen con estándares de calidad (CP: cumple parámetro).....	115
Tabla 38. Análisis Anova para los puntos 6 y 7 .....	120
Tabla 39. Análisis Anova para los puntos 9 y 9" .....	120
Tabla 40. Análisis Anova para los puntos 1" y 4" .....	121
Tabla 41. Análisis Anova para los puntos 2 y 3.....	121
Tabla 42. Análisis ANOVA para los puntos 1 y 2".....	122
Tabla 43. Resultados análisis de puntos semejantes por medio de T-Test.....	123
Tabla 44. Análisis de precios unitarios del Laboratorio sin reducciones.....	125

### **Lista de gráficos**

Gráfico 1. Comparación de resultados de concentraciones de Acidez Total con respecto a la norma: Decreto 1594 (COL en leyenda) .....	74
Gráfico 2. Comparación de resultados de concentraciones de Alcalinidad con respecto a las normas: Decreto 1594 (COL en leyenda) y CE (CE en leyenda).....	75
Gráfico 3. Comparación de resultados de concentraciones de Color con respecto a las normas: Decreto 1594 (COL CONSUMO en leyenda) EPA para riego (EPA RIEGO en leyenda) y CE (CE CONSUMO en leyenda).....	76
Gráfico 4. Comparación de resultados de concentraciones de Turbiedad con respecto a las normas: Decreto 1594 (COL CONSUMO en leyenda), CE (CE CONSUMO en leyenda), EPA para baños (EPA BANOS en leyenda), EPA para riego (EPA RIEGO en leyenda) y EPA para lavado (EPA LAVADO en leyenda).....	77

Gráfico 5. Comparación de resultados de concentraciones de Dureza Total con respecto a las normas: Decreto 1594 (COL CONSUMO en leyenda) y CE (CE CONSUMO en leyenda).....	78
Gráfico 6. Comparación de resultados de concentraciones de Dureza por Calcio con respecto a las normas: Decreto 1594 (COL CONSUMO en leyenda).....	78
Gráfico 7. Comparación de resultados de concentraciones de Dureza por Magnesio con respecto a las normas: CE (CE CONSUMO en leyenda) .....	79
Gráfico 8. Gráfico 8. Comparación de resultados de concentraciones de Sólidos Totales con respecto a las normas: Decreto 1594 (COL CONSUMO en leyenda).....	80
Gráfico 9. Comparación de resultados de concentraciones de Sólidos Suspendidos Totales con respecto a las normas: Decreto 1594 (COL CONSUMO en leyenda), CE (CE CONSUMO en leyenda), EPA para consumo (EPA CONSUMO en leyenda), para baños (EPA BAÑOS en leyenda), EPA para riego (EPA RIEGO en leyenda), EPA para lavado (EPA LAVADO en leyenda), EPA para paisajístico (EPA PAISAJISTICO en leyenda).....	81
Gráfico 10. Comparación de resultados de concentraciones de Sólidos Volátiles.....	81
Gráfico 11. Comparación de resultados de concentraciones de Sólidos Disueltos Totales con respecto la norma para consumo (EPA CONSUMO en leyenda) y para riego (EPA RIEGO en leyenda).....	82
Gráfico 12 Comparación de resultados de concentraciones de Sólidos Sedimentables con respecto la norma CE para consumo (CE CONSUMO en leyenda).....	83
Gráfico 13. Comparación de resultados de concentraciones de Conductividad con respecto la norma decreto 1594 para consumo (COL CONSUMO en leyenda) y CE (CE CONSUMO en leyenda) .....	83
Gráfico 14. Comparación de resultados de concentraciones de Temperatura con respecto la norma para consumo CE (CE CONSUMO en leyenda).....	84
Gráfico 15. Comparación de resultados de concentraciones de Plomo (Pb) con respecto la norma decreto 1594 para consumo (COL CONSUMO en leyenda), EPA (EPA CONSUMO en leyenda), CE (CE CONSUMO en leyenda) y EPA para riego (EPA RIEGO en leyenda) .....	85
Gráfico 16. Comparación de resultados de concentraciones de Hierro (Fe) con respecto la norma EPA (EPA CONSUMO en leyenda), CE (CE CONSUMO en leyenda), decreto 1594 para riego (COL RIEGO en leyenda), y CE para riego (CE RIEGO en leyenda).....	86
Gráfico 17. Comparación de resultados de concentraciones de Cadmio (Cd) con respecto la norma decreto 1594 para consumo (COL CONSUMO en leyenda), EPA (EPA CONSUMO en	

leyenda), CE (CE CONSUMO en leyenda), decreto 1594 para riego (COL RIEGO en leyenda), y EPA para riego (EPA RIEGO en leyenda).....87

Gráfico 18. Comparación de resultados de concentraciones de Plata (Ag) con respecto la norma decreto 1594 para consumo (COL CONSUMO en leyenda) y CE (CE CONSUMO en leyenda).....88

Gráfico 19. Comparación de resultados de concentraciones de Cobre (Cu) con respecto la norma decreto 1594 para consumo (COL CONSUMO en leyenda), EPA (EPA CONSUMO en leyenda), CE (CE CONSUMO en leyenda), decreto 1594 para riego (COL RIEGO en leyenda) y EPA para riego (EPA RIEGO en leyenda).....89

Gráfico 20. Comparación de resultados de concentraciones de Níquel (Ni) con respecto la norma decreto 1594 para consumo (COL CONSUMO en leyenda), EPA (EPA CONSUMO en leyenda), CE (CE CONSUMO en leyenda), decreto 1594 para riego (COL RIEGO en leyenda) y EPA para riego (EPA RIEGO en leyenda).....90

Gráfico 21. Comparación de resultados de concentraciones de Manganeso (Mn) con respecto la norma decreto 1594 para consumo (COL CONSUMO en leyenda), EPA (EPA CONSUMO en leyenda), CE (CE CONSUMO en leyenda), decreto 1594 para riego (COL RIEGO en leyenda) y EPA para riego (EPA RIEGO en leyenda).....91

Gráfico 22. Comparación de resultados de concentraciones de Sodio (Na) con respecto la norma CE (CE CONSUMO en leyenda).....91

Gráfico 23. Comparación de resultados de concentraciones de Potasio (K) con respecto la norma CE (CE CONSUMO en leyenda).....92

Gráfico 24. Comparación de resultados de concentraciones de Magnesio (Mg) con respecto la norma decreto 1594 para consumo (COL CONSUMO en leyenda).....93

Gráfico 25. Comparación de resultados de concentraciones de Mercurio (Hg) con respecto la norma decreto 1594 para consumo (COL CONSUMO en leyenda), EPA (EPA CONSUMO en leyenda) y CE (CE CONSUMO en leyenda) .....93

Gráfico 26. Comparación de resultados de concentraciones de Zinc (Zn) con respecto la norma decreto 1594 para consumo (COL CONSUMO en leyenda), EPA (EPA CONSUMO en leyenda), CE (CE CONSUMO en leyenda), decreto 1594 para riego (COL RIEGO en leyenda) y EPA para riego (EPA RIEGO en leyenda).....94

Gráfico 27. Comparación de resultados de concentraciones de Nitrógeno Amoniacal con respecto la norma decreto 1594 para consumo (COL CONSUMO en leyenda), EPA (EPA CONSUMO en leyenda) y CE (CE CONSUMO en leyenda).....95

Gráfico 28. Comparación de resultados de concentraciones de Fosforo Total con respecto la norma decreto 1594 para consumo (COL CONSUMO en leyenda) y CE (CE CONSUMO en leyenda) .....	95
Gráfico 29. Comparación de resultados de concentraciones de Sulfatos con respecto la norma decreto 1594 para consumo (COL CONSUMO en leyenda) y CE (CE CONSUMO en leyenda) .....	96
Gráfico 30. Comparación de resultados de concentraciones de Cloruros con respecto la norma decreto 1594 para consumo (COL CONSUMO en leyenda) y CE (CE CONSUMO en leyenda). .....	97
Gráfico 31. Comparación de resultados de concentraciones de pH con respecto la norma decreto 1594 para consumo (COL CONSUMO en leyenda), EPA (EPA CONSUMO en leyenda), CE (CE CONSUMO en leyenda), EPA para baños (EPA BANOS en leyenda decreto 1594 para riego (COL RIEGO en leyenda), EPA para riego (EPA RIEGO en leyenda), EPA para lavado (EPA LAVADO en leyenda) y decreto 1594 para paisajístico (COL PAISAJISTICO en leyenda).....	98
Gráfico 32. Comparación de resultados de concentraciones de NTK con respecto la norma para consumo CE (CE CONSUMO en leyenda) .....	99
Gráfico 33. Comparación de resultados de concentraciones de Oxigeno Disuelto con respecto la norma para consumo EPA (EPA CONSUMO en leyenda).....	99
Gráfico 34. Comparación de resultados de concentraciones de DBO <sub>5</sub> con respecto la norma para consumo EPA (EPA CONSUMO en leyenda, EPA para baños (EPA BANOS en leyenda), EPA para riego (EPA RIEGO en leyenda), EPA para lavado (EPA LAVADO en leyenda) y EPA para paisajístico (EPA PAISAJISTICO en leyenda) .....	100
Gráfico 35. Comparación de resultados de concentraciones de DQO con respecto la norma para consumo CE (CE CONSUMO en leyenda) .....	101
Gráfico 36. Comparación de resultados de concentraciones de Aluminio con respecto la norma para consumo decreto 1594 para consumo (COL CONSUMO en leyenda) y CE (CE CONSUMO en leyenda).....	101
Gráfico 37. Comparación de resultados de concentraciones de Arsénico con respecto la norma para consumo decreto 1594 para consumo (COL CONSUMO en leyenda), EPA (EPA CONSUMO en leyenda) y CE (CE CONSUMO en leyenda).....	102
Gráfico 38. Comparación de resultados de concentraciones de Bario con respecto la norma para consumo decreto 1594 para consumo (COL CONSUMO en leyenda) y EPA (EPA CONSUMO en leyenda) .....	103

Gráfico 39. Comparación de resultados de concentraciones de Calcio con respecto la norma para consumo CE (CE CONSUMO en leyenda).....103

Gráfico 40. Comparación de resultados de concentraciones de Cromo con respecto la norma para consumo decreto 1594 (COL CONSUMO en leyenda), EPA (EPA CONSUMO en leyenda) y CE (CE CONSUMO en leyenda).....104

Gráfico 41. Comparación de resultados de concentraciones de Molibdeno con respecto la norma para consumo decreto 1594 (COL CONSUMO en leyenda).....105

### **Lista de ilustraciones**

Ilustración 1. Distribución del Agua en la Tierra. (Gleick., 1996). El volumen total del agua dulce del planeta es de 35.2 miles de millones de kilómetros cúbicos (km<sup>3</sup>).....17

Ilustración 2. Mapa de contaminación atmosférica en Bogotá de hollín, polvo y humo. Nieto E., 2008.....32

Ilustración 3. Regiones de aceptación y rechazo de acuerdo a una confiabilidad del 95 %.....49

Ilustración 4. Diagrama de Caja presentación propia del autor.....43

Ilustración 5. Vista general del Campus de la Pontificia Universidad Javeriana.....46

Ilustración 6. Diagramas de volúmenes acumulados, para calcular el volumen de almacenamiento (Lars, et al, 2007).....48

Ilustración 7. Ubicación de los puntos de muestreo Agrupación espacial según el dendrograma .....49

Ilustración 8. Areas aferentes de los puntos de muestreo .....116

Ilustración 9. Dendrograma de agrupación por clúster para las dieciocho campañas .....118

Ilustración 10. Agrupacion espacial según el dendrograma.....119

## 1. INTRODUCCIÓN

Muchos países con problemas de escasez de agua están replanteando el papel del agua lluvia, pasando de considerarla como un desecho a considerarla como un recurso (Vishwanath, 2001; De Graaf *et al.*, 2007; Fletcher *et al.*, 2007), capaz de suplir varias de las necesidades domésticas cotidianas. El crecimiento de la población urbana, y por ende el aumento de la demanda de agua, ha generado una presión hídrica que, en muchas ciudades del mundo se ha vuelto crítica debido a la poca oferta hídrica natural. Lo anterior ha generado una atención cada vez mayor en el aprovechamiento del agua lluvia en zonas urbanas (Hatt *et al.*, 2006; Coombes y Mitchell, 2006).

Adicionalmente, se ha demostrado que, según el lugar y, por consiguiente, la oferta hídrica natural, el volumen anual de agua lluvia transportada por los hidrosistemas de saneamiento urbano puede ser similar o incluso superar la demanda anual necesaria para ciertos usos (Mitchell *et al.*, 2003; Lara Borrero *et al.*, 2007), pero se reconoce que la implementación de sistemas de aprovechamiento de agua lluvia depende no solamente de la cantidad de lluvia u oferta hídrica disponible en un determinado lugar, sino también de la calidad de ésta y de los usos que se le quieran dar (Chocat, 2006; Mitchell *et al.*, 2008). Debido a lo anterior, se ha reconocido la necesidad de realizar investigaciones para caracterizar con mayor precisión la calidad físico-química y bacteriológica del agua lluvia de escorrentía en zonas urbanas, su variabilidad y las incertidumbres asociadas (McCarthy *et al.*, 2008), así como la relación con los usos preferenciales para lograr la mayor eficiencia de los sistemas de aprovechamiento (McCarthy, 2005).

Se conocen varias experiencias publicadas internacionalmente donde el agua lluvia es aprovechada para diferentes usos, desde el consumo humano hasta el riego de plantas (Mitchell 2008). Además, esta práctica puede ser interesante económicamente y ambientalmente.

Mitchell *et al.*(2003) estudiaron el agua lluvia anual precipitada (separando los sistemas de aguas lluvias y aguas residuales) de tres ciudades de Australia (Brisbane, Melbourne y Sidney) y mostraron que el 50 % de la demanda total de agua se utiliza para usos domésticos que no requieren de una potabilización del agua. Gracias a esta práctica la demanda de agua potable se ha reducido entre un 17 % y un 65 %; pero en cuanto al costo, éste es variable dependiendo de las condiciones del terreno en función de las instalaciones de recolección (Hatt *et al.*, 2006).

En Australia, en el estado de Victoria se ha venido presentando un aumento importante en los usos del agua lluvia para diversos propósitos, excluyendo el consumo humano. A partir de esta experiencia, el estado de Victoria propone que se permita un mayor rango posible para los usos potenciales que se le puedan dar al agua lluvia, respetando las diferentes normas (Hatt *et al.*, 2006).

Los sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias integran cuatro componentes principales (Fewkes y Butler, 2000; Hatt *et al.*, 2006; Mitchell *et al.*, 2005; Schlüter y Gillespie, 2007; Mitchell *et al.*, 2008): captación, tratamiento, almacenamiento y distribución. Dentro de estos componentes, el tratamiento representa el reto más importante (Hatt *et al.*, 2006). Por lo tanto aprovechando el agua lluvia es más conveniente usarla para la reutilización, que llegar hacer un aprovechamiento de aguas negras de buena calidad, debido a la facilidad de los sistema de captación (Coombes *et al.*, 2006).

Comparando el aprovechamiento convencional de agua lluvia, frente a otra alternativa mejor establecida como lo es la desalinización de agua de mar; se ve que hay una necesidad en promover el desarrollo de tecnologías innovadoras para el reciclaje de agua lluvia (Hatt *et al.*, 2006).

En India, por ejemplo, la lluvia es importante porque este país depende de un modelo estacional de precipitación llamado el Monzón, con el 50 % de precipitación anual en sólo 15 días, haciendo que la recolección de este recurso hídrico se aproveche en su mayoría y así poder dosificarla en periodos de sequías (Bharat, 2007).

La Pontificia Universidad Javeriana ha venido desarrollando una investigación desde el 2007, la cual se planteó en el trabajo de grado “Aprovechamiento del agua lluvia para riego y lavado de zonas duras y fachadas en el campus de la Pontificia Universidad Javeriana (Bogotá)”, donde se concluyó que el agua lluvia es suficiente para el uso que se planteó, y recomendó la ampliación de los estudios en cuanto a calidad del agua lluvia (Lara et al, 2007).

Debido a lo anterior, el objetivo general de este trabajo consistió en identificar los posibles usos del agua lluvia de escorrentía en el campus de la Pontificia Universidad Javeriana, sede Bogotá, PUJB, mediante la realización de una serie de ensayos al agua lluvia de escorrentía captada en la zona alta de la Universidad.

El documento presenta una serie de análisis en cuanto a la viabilidad económica y técnica del aprovechamiento del agua lluvia como una alternativa para ciertos usos dentro del campus, en

función de la calidad y posibles usos de agua lluvia potencialmente aprovechable dentro de la Universidad. Se compone de un marco teórico (Capítulo 2) el cual presenta un recuento histórico, el estado del arte, experiencias en Colombia sobre el aprovechamiento del agua lluvia; adicionalmente presenta los tipos, implicaciones, el origen y las concentraciones de los contaminantes en la escorrentía urbana; las principales herramientas para realizar el análisis estadístico; Materiales y Métodos (Capítulo 3) describe el sitio experimental seleccionado, los diferentes puntos de muestreo, las pruebas en el laboratorio y los parámetros para realizar el análisis y comparación de resultados; en Resultados y Discusión (Capítulo 4) se analizó los resultados obtenidos, teniendo en cuenta las normas de calidad del agua y los análisis estadísticos realizados; las Conclusiones y Recomendaciones (Capítulo 5) donde se tomaron los resultados más relevantes del documento, para realizar las conclusiones generales y recomendaciones para trabajos futuros.

## **2. MARCO TEÓRICO**

En este capítulo se describe un recuento histórico, el estado del arte y experiencias en Colombia sobre el aprovechamiento del agua lluvia, las cuales son importantes para tener bases sólidas en cuanto a experiencias ya existentes. Adicionalmente describe en detalle los contaminantes presentes en la escorrentía urbana así como sus tipos, implicaciones, origen y concentraciones típicas. Por último, se dan a conocer las principales herramientas para realizar el análisis estadístico, como lo son el análisis de incertidumbres asociadas, el método de Montecarlo, teoría de clúster, análisis Anova, análisis por T-Test y la realización de un diagrama de cajas.

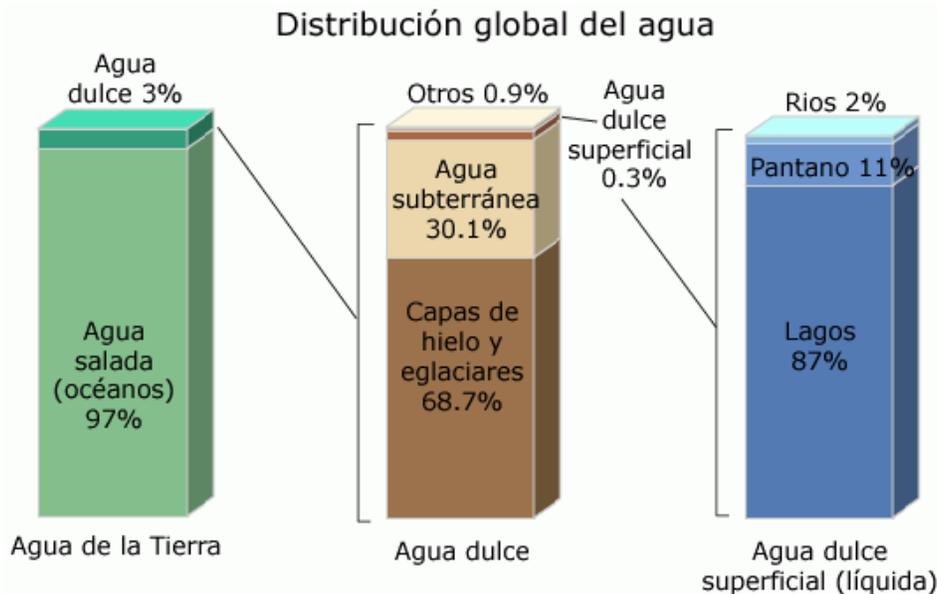
### **2.1. Aprovechamiento del agua lluvia**

#### **2.1.1. Recuento histórico**

El agua en el mundo existe de manera natural bajo distintas formas y en distintos lugares: en el aire, la superficie, bajo el suelo y los océanos. Según la Organización Mundial de la Salud, el total del agua presente en el planeta cubre 3/4 partes (71%) de la superficie de la Tierra, en todos sus estados. Un 97.5 % es agua salada, que se encuentra principalmente en los océanos y mares y solamente el 2.5% del agua total es dulce, donde casi toda está en los glaciares y capas de hielo; haciendo que este valor no esté disponible del todo: únicamente un 0.4% del agua dulce está disponible para ser utilizada por los seres vivos (Ilustración 1) (Shiklomanov, 1993; Unesco, 2003). Esto lleva a pensar en la capacidad que tiene el planeta para abastecer a los seres vivos en un tiempo futuro, ya que hoy día la población mundial es de aproximadamente 6800 millones de habitantes. Se prevé que para el año 2015 la población mundial aumente a 7100 millones de habitantes, esperando así que en el año 2025 alcance la cifra de 8000 millones de habitantes, lo cual implique grandes retos en cuanto al abastecimiento y la calidad de agua para uso doméstico, industrial y agrícola (Palerm, 2002; World Water Council, 2000; WSSCC, 2000).

Por lo tanto, el aprovisionamiento de agua para satisfacer las necesidades básicas de los habitantes, no es directamente proporcional, sumado a la falta de conciencia en cuanto al desperdicio de éste recurso natural, teniendo como resultado el aumento de la contaminación y destrucción de los ecosistemas existentes (Naciones Unidas, 2006).

El desequilibrio existente entre el volumen de agua dulce disponible y la demanda de la misma, ha llevado a que este recurso sea escaso y se tienen serios problemas con la calidad del agua ocasionando graves enfermedades que son la causa de muerte de millones de personas cada año por falta de agua potable (WHO y UNICEF 2000). Además la disminución de las reservas de aguas subterráneas, su eventual contaminación y el deterioro general de los recursos hídricos han llevado a la disminución de la diversidad de especies acuáticas y a un aumento en el número de especies en grave peligro de extinción alrededor del mundo (UNDP, 2000).



**Ilustración 1, Distribución del Agua en la Tierra. (Gleick, 1996). El volumen total del agua dulce del planeta es de 35.2 miles de millones de kilómetros cúbicos (km<sup>3</sup>).**

Más de la mitad de los principales ríos del planeta están gravemente agotados y contaminados, por lo que degradan y contaminan los ecosistemas, amenazando la salud y el sustento de las personas que dependen de ellos (World Commission on

Water, 1999). Gracias a la contaminación, el acceso a suficiente agua y de buena calidad no es requerida en cantidades suficientes para los seres vivos: humanos, animales y vegetales, así como para las actividades económicas. Sin embargo, el crecimiento demográfico sin precedentes, junto con la urbanización creciente y en muchos casos un aumento paralelo en la demanda de agua específicos, ha dado como resultado la escasez de agua en muchas regiones de todo el mundo (Friedler y Hadari, 2006). Para no tener problemas futuros sobre un posible desabastecimiento de agua, se están mirando otras alternativas para mitigar este impacto, donde una de las más implementadas es el aprovechamiento de agua lluvia.

La captación del agua lluvia puede ser definida como la recolección de los escurrimientos superficiales para diversos usos (FAO 2000), se ha practicado desde la aparición de las antiguas civilizaciones hasta hoy en día, especialmente en zonas áridas para satisfacer las necesidades en usos: riego de cultivos y consumo doméstico. Hay información de estas actividades que datan de 4.000 años o más. Por ejemplo: en la época de los Romanos tenían casas con sistemas de recolección de aguas lluvias “impluvium”; el Imperio Maya utilizaba este recurso para consumo y riego; por otro lado en la época de la colonización se veía aprovechamiento en las haciendas e iglesias para usos domésticos. Poco a poco se fue perdiendo el interés por el agua lluvia, ya que con el crecimiento urbano se buscaron otras alternativas menos dependientes para lograr el abastecimiento. A comienzos del siglo XXI la situación es diferente, en muchas regiones semiáridas del mundo se establecieron poblaciones que se desarrollaron de manera vertiginosa, ejerciendo presión sobre las fuentes finitas de agua, aprovechando así el agua lluvia como alternativa para suplir necesidades básicas (Ballén *et al*, 2006), indicando la necesidad de considerar el agua lluvia como una solución para hacer frente al abastecimiento de agua a nivel familiar y a nivel de la comunidad.

El agua lluvia al ser una inagotable fuente que causa grandes desastres cuando cae en exceso, lleva a considerarse de un desecho a un recurso (Vishwanath, 2001; De Graaf *et al.*, 2007; Fletcher *et al.*, 2007). Debido a lo anterior, se ha reconocido la necesidad de realizar investigaciones para caracterizar con mayor precisión la calidad físico-química y bacteriológica del agua lluvia de escorrentía en zonas urbanas, su

variabilidad y las incertidumbres asociadas (McCarthy *et al.*, 2008). Hoy en día hay programas a nivel global que se están llevando a cabo para evaluar la calidad del agua, el uso del agua, la aceptación social de los elementos de diseño sensibles al agua, problemas de mantenimiento y el rendimiento económico (Coombs *et al.*, 1999), así como la relación con los usos preferenciales para lograr la mayor eficiencia de los sistemas de aprovechamiento (McCarthy, 2005).

### **2.1.2. Estado del arte**

La mayoría de investigaciones sobre la captación de agua describen experiencias del Medio Oriente, Australia, África del Norte, India y el norte de México, sur este de EE.UU. Recientemente han aparecido más publicaciones sobre experiencias en África (Sub-Sahara y del Sur) y sobre América Latina. Estas publicaciones describen algunas experiencias en México, Brasil y (en menor cantidad) en los Andes, pero aún no hay publicaciones sistemáticas sobre este tema (FAO, 2000).

El Banco Mundial en 1988 publicó el reporte técnico N° 91 “Water Harvesting for Plant Production”, en el que se da especial atención a África. En él se describen técnicas de captación de agua lluvia para la producción agrícola, satisfaciendo las necesidades de la población (Banco Mundial, 1988). Por su parte en India, por ejemplo; varios gobiernos estatales han introducido la legislación que hace obligatorio el incorporar sistemas de cosecha de agua lluvia de tejado a edificios recién construidos en áreas urbanas. Los gobiernos también proporcionan subvenciones para promover el empleo de sistemas de cosecha de agua lluvia (Meera, V. & Ahammed, M., 2006).

Incluso en países desarrollados como Alemania, Dinamarca, Australia y Nueva Zelanda, la utilización de agua lluvia mediante sistemas de captación en casas privadas, edificios públicos e industria, se presentan en proyectos con la idea de ahorrar el agua potable, y no desperdiciarla para hacer la limpieza en las casas, ya sea en baños, pisos etc. (Hermann y Schmida, 1999; Mikkelsen *et al* 1999).

Mientras la cosecha de agua lluvia de tejado está siendo promovida, a la cual se le ha prestado poca atención sólo hasta hace poco, donde se han centrado en la calidad de

agua lluvia. En países en vía de desarrollo, donde el agua cosechada es usada como una fuente de agua potable, la calidad de esta agua lluvia es muy importante (Meera & Ahammed, 2006).

En los Estados Unidos y Australia, la captación de agua lluvia se aplica principalmente para abastecer a la ganadería y al consumo doméstico; la investigación está dirigida principalmente hacia lograr incrementos en la escorrentía superficial a través de tratamientos en las áreas de captación (FAO, 2000). En Norte América los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia son usados en 15 Estados de los Estados Unidos: Alaska, Hawái, Washington, Oregón, Arizona, Nuevo México, Texas, Kentucky, Ohio, Pennsylvania, Tennessee, North Carolina, Virginia, West Virginia y las Islas Vírgenes. Se estima que más de medio millón de personas en los Estados Unidos utilizan sistemas de aprovechamiento de agua lluvia abasteciéndose de agua para usos domésticos o propósitos agrícolas, comerciales o industriales. Texas es el estado donde más se utilizan los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia, en una casa típica en Texas tiene un área de 200 m<sup>2</sup> de cubierta y puede producir más de 150.000 litros de agua al año con una precipitación anual media de 850 mm (Krishna, 2004).

Por otra parte la FAO publicó en 1994 un manual sobre Captación y Aprovechamiento del Agua Lluvia, dando especial atención a América Latina y el Caribe (FAO, 1994). En él se describen tecnologías para la producción agrícola, la cual regula las instancias de producción agrícola en la región. Mientras que el IICA-México publicó en 1998 dos manuales sobre Captación de Agua Lluvia para los diferentes uso doméstico y para la producción agrícola, los cuales se distribuyeron ampliamente en la región de América Latina y el Caribe (IICA, 1998). Al ser una región árida y tener un clima seco se han desarrollado diferentes proyectos los cuales buscan abastecer de agua a diferentes poblaciones con métodos alternativos a los convencionales (Ojeda, 2006).

En Australia, la densidad de población es muy baja a excepción de las grandes urbes y las poblaciones mayores. Debido a esto el agua debe recorrer grandes distancias a través de kilómetros de tubería, haciendo que esta sea muy costosa o que en algunos lugares remotos no se suministre el servicio. En Australia se utiliza el aprovechamiento de agua lluvia como una solución muy común al problema de suministro de agua. En

1994 el Australian Bureau of Statistics (Oficina Australiana de Estadística) realizó un estudio mostrando que el 30.4 % de los hogares australianos ubicados en las zonas rurales y el 6.5 % de los hogares en las ciudades, utilizan algún sistema de aprovechamiento de agua lluvia. También se indica en el estudio que el 13 % de las casas donde se ha implementado un sistema de aprovechamiento de agua lluvia, el agua se utiliza para beber y cocinar (Evans et al, 2009; Gardner, 2003).

### **2.1.3. Experiencias en Colombia**

Gracias a la riqueza hídrica que tiene Colombia, la mayoría de las poblaciones se abastecen de fuentes superficiales de agua (embalses, ríos, lagos y quebradas). Esta facilidad de acceder al recurso ha dejado de lado el desarrollo de tecnologías alternativas para el suministro de agua, entre ellas el aprovechamiento de agua lluvia.

En algunos casos de comunidades con problemas de abastecimiento de agua potable utilizan el sistema de aprovechamiento de agua lluvia, los cuales son poco tecnificados ocasionando una baja calidad en el agua y baja eficiencia de los sistemas para satisfacer diferentes usos domésticos. En algunos sectores del país entre los que se encuentran La Bocana (Buenaventura), El Chocó, San Andrés; Puerto Carreño (Vichada), Cartagena, Cali, utilizan sistemas de aprovechamiento de agua lluvia, los cuales en su mayoría son sistemas rurales empíricos (Ballén et al, 2006). En el caso de la Bocana (Buenaventura) la comunidad se abastece de agua de diferentes formas; una de ellas es la captación de agua lluvia a partir de los techos de las viviendas. En la localidad existe un sistema entubado con conexión domiciliaria que presenta limitaciones en su funcionamiento y no es usado totalmente por la comunidad debido a las deficiencias en la operación del sistema de bombeo y los costos de energía. Históricamente la comunidad de la Bocana ha utilizado el agua lluvia en combinación con otras fuentes para suplir las necesidades de consumo (Sánchez, L.D y Caicedo, E.Y., 2003). Por su parte las pequeñas islas en el Caribe Colombiano tienen un vegetación abundante y climas cálidos con mucha humedad, pero las corrientes de agua superficial suelen ser escasas, dichas poblaciones tienen problemas de abastecimiento de agua potable, por ello utilizan los sistemas de aprovechamiento de

agua lluvia como su forma de suministro, este es el caso de San Andrés, Providencia y Santa Catalina entre otras. A nivel industrial son pocos los ejemplos que ilustran ésta práctica: Almacén Alkosto Venecia (Bogotá), donde se aprovechan 6.000 m<sup>2</sup> de cubierta para captar alrededor de 4.820 m<sup>3</sup> de agua lluvia al año, con lo cual se satisface el 75 % de la demanda actual de agua potable de la edificación; El almacén Alkosto de Villavicencio tiene una cubierta de 1.061 m<sup>2</sup> con la cual se capta el agua lluvia para ser almacenada en un tanque de 150 m<sup>3</sup>. Posteriormente el agua es potabilizada en una planta de tratamiento donde el sistema proporciona agua potable para todas las necesidades del almacén durante todo el año (Ballén et al, 2006).

Los diferentes sistemas de captación y aprovechamiento del agua lluvia son utilizados como estrategias para mitigar los efectos de las sequía en las diversas regiones del mundo, como por ejemplo: las actividades agrícolas utilizan más del 70% del agua en el ámbito mundial, lo cual indica la urgente necesidad de lograr un manejo integral y más eficiente de este recurso natural básico para el desarrollo sostenible, por lo que se espera reforzar la cultura del agua (Palerm, 2002).

A nivel educativo en cuanto al aprovechamiento, se conocen experiencias en el Edificio de Postgrados de Ciencias Humanas de la sede Bogotá de la Universidad Nacional, que cuenta con un sistema de cubierta protegida con grava en la cual se capta agua lluvia que es llevada a un tanque subterráneo, desde el cual se bombea agua para la descarga de los inodoros, y alimentar las fuentes y los espejos de agua (Ballén et al, 2006). Por otro lado, en la Pontificia Universidad Javeriana Bogotá, donde se realizaron estudios para evaluar la viabilidad técnica y económica de utilizar agua lluvia para el lavado de fachadas del Campus Universitario (Lara et al, 2007).

Hoy en día existe una atención creciente sobre el aprovechamiento de las aguas lluvias como fuente alternativa, debido a posibles beneficios económicos y ambientales. Se reconoce, sin embargo, que la implementación de sistemas de aprovechamiento de agua lluvia depende no solamente de la cantidad de lluvia, sino también de su calidad y de los usos que se le quieran dar (Torres *et al*, 2009).

## **2.2. Contaminantes presentes en la escorrentía urbana**

La contaminación causada por el agua de escorrentía constituye un gran problema en las áreas urbanas. La escorrentía urbana se considera como una fuente de contaminación de difícil localización (difusa), pues se origina en áreas extensas, su vertido es intermitente ligado a un fenómeno aleatorio, la lluvia, variable en el tiempo, difícil de muestrear en origen y está relacionada con el uso del suelo (Novotny, 1994; Malgrat, 1995).

### **2.2.1. Tipos de contaminantes e implicaciones**

La contaminación del agua es la acción y el efecto de introducir materias o formas de energía, o inducir condiciones en el agua que de modo directo o indirecto impliquen una alteración perjudicial de su calidad en relación con los usos posteriores o con su función ecológica. Los contaminantes que causan problemas comprenden organismos causantes de enfermedades (patógenos) como lo son: materia orgánica, sólidos, nutrientes, sustancias tóxicas, color, espuma calor y materiales radioactivos (Glynn, Henry J y Heinke, Gary W., 1999). Todos los contaminantes contenidos en las aguas residuales causarían serios problemas ambientales al ser vertidos directamente a un curso de agua no contaminado.

El agua lluvia pura es difícil de encontrar, ya que la contaminación va dependiendo de la calidad de la atmósfera. Los contaminantes atmosféricos, sobre todo, partículas, microorganismos, metales pesados y sustancia orgánica, se acumulan en las zonas de captación de la deposición seca y se lavan fuera de la atmósfera durante los eventos de lluvia. Por otro lado, el agua lluvia en las zonas rurales debido a que está lejos de la contaminación atmosférica e industrial, se presenta con una buena calidad a excepción de algunos gases disueltos; mientras que en las zonas urbanas al haber un elevado tráfico de vehículos y un impacto importante de la industria, el agua lluvia estará contaminada por diferentes partículas, metales pesados y contaminantes orgánicos del aire, llamados vertimientos urbanos (Helmreich & Horn, 2009). Los vertimientos urbanos de tiempos de lluvia (VUTL) se definen como todas las aguas de escorrentía sobre superficies urbanas o a la salida de las redes de alcantarillado separado o

combinado que se unen al medio receptor (cuerpos de agua superficiales o subterráneos) sin pasar por un sistema de tratamiento. Los (VUTL) pueden arrastrar una serie de contaminantes que se pueden clasificar por orden de visibilidad decreciente (Thévenot, 1992):

- **Sólidos flotantes:** polución visual: Partículas del suelo arrastradas en las aguas, junto con otros materiales que hay en suspensión en las aguas. La turbidez que provocan en el agua dificulta la vida de algunos organismos, y los sedimentos que se van acumulando destruyen sitios de alimentación de los peces, también rellenan lagos o pantanos y obstruyen canales, ríos y puertos. Los particulados orgánicos e inorgánicos en las aguas residuales son sólidos sedimentables, flotantes y en suspensión capaces de formar depósitos de aspecto desagradable y bancos de lodo olorosos, y de reducir la penetración de la luz solar en el agua.
- **Sólidos suspendidos Totales (SST):** Son partículas transportadas durante el periodo de lluvia en las redes separativas son mucho más minerales que aquellas de las redes unitarias, esto se debe a un fenómeno de lavado en los tejados y las calzadas de la ciudad; al ser depositados en las diferentes fuentes de agua, conduce al desarrollo de depósitos de fango y aumenta las condiciones anaerobias de las zonas de vertido. Los consumidores frecuentemente encuentran sedimentos en el agua; dichos sedimentos pueden consistir tanto en materia orgánica, incluyendo microorganismos, como material soluble. Los sedimentos frecuentemente son el problema extremo de la materia particulada presente en el agua, normalmente se detecta como una ligera turbidez del agua. La presencia de arcillas finas o partículas de aluvión y algas incrementa la turbidez (Glynn, Henry J y Heinke, Gary W., 1999).
- **Materias oxidables:** Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días (DBO<sub>5</sub>): Son el conjunto de residuos orgánicos producidos por los seres humanos, ganado, etc. Incluyen heces y otros materiales que pueden ser descompuestos por bacterias aeróbicas, es decir en procesos con consumo de oxígeno. Cuando este tipo de desechos se

encuentran en exceso, la proliferación de bacterias agota el oxígeno, y ya no pueden vivir en estas aguas peces y otros seres vivos que necesitan oxígeno. Demanda Bioquímica de Oxígeno es el oxígeno que se consume en un determinado volumen de agua en un plazo fijo de tiempo de tiempo (5 días), a una temperatura estándar (15°C) y en condiciones de oscuridad. Indica la materia orgánica presente en el agua, porque cuanto más hay, más activas estarán las bacterias aeróbicas, y más oxígeno se consumirá. Por tanto si la DQO y la DBO<sub>5</sub> son altas, indica una eventual contaminación y mala calidad del agua, haciendo que se agoten los recursos naturales de oxígeno y que se desarrolle condiciones sépticas. Cuanto mayor es la concentración de la DQO y la DBO<sub>5</sub>, indican contaminación y mala calidad del agua, mayor es el problema que crea la descomposición de la misma. La actividad metabólica de las bacterias que necesitan oxígeno puede reducir el contenido normal de oxígeno disuelto en una corriente o lago hasta menos de 1 mg/L, abajo del cual la mayor parte de los peces son incapaces de sobrevivir. Cuando el oxígeno disuelto desaparece, se presentan condiciones anaeróbicas y se generan olores desagradables; además al bajar la cantidad de oxígeno disuelto y al aumentar la temperatura (Glynn, Henry J y Heinke, Gary W., 1999).

- Nutrientes: Nitrógeno, Fósforo: Son sustancias solubles en agua que las plantas necesitan para su desarrollo, pero si se encuentran en cantidad excesiva inducen el crecimiento desmesurado de algas y otros organismos provocando la eutrofización de las aguas. Cuando estas algas y otros vegetales mueren, al ser descompuestos por los microorganismos, se agota el oxígeno y se hace imposible la vida de otros seres vivos. El resultado es un agua mal oliente e inutilizable. Los nitratos y los fosfatos son nutrientes inorgánicos que favorecen el crecimiento de plantas y algas. Concentraciones tan bajas como 0.01 mg/L de fósforo y 0.1 mg/L de nitrógeno pueden ser suficientes para causar eutroficación; además de causar un efecto antiestético en los lagos (olor, aspecto), las algas pueden ser tóxicas para el ganado, perjudicar el sabor del agua, obstruir las unidades filtrantes y aumentar las necesidades químicas en el tratamiento (Glynn, Henry J y Heinke, Gary W., 1999). Al ser componentes comunes de los

alimentos, se tornan esenciales como la principal fuente diaria. Por lo tanto debido a que las dietas son tan variables, la cantidad de nitratos varía sobre un amplio rango. La principal preocupación asociada con la alta concentración de nitratos en el agua es el desarrollo de la metahemoglobinemia o síndrome azul en los bebés, enfermedad que es incapaz de transportar oxígeno y así se reduce la captación de oxígeno en los pulmones (Gray N. F., 1996).

- **Microcontaminantes minerales: Metales Pesados:** En este grupo están incluidos ácidos, sales y metales tóxicos como el mercurio y el plomo. Si están en cantidades altas pueden causar graves daños a los seres vivos, disminuir los rendimientos agrícolas y corroer los equipos que se usan para trabajar con el agua. Aunque algunos de los metales son esenciales para el desarrollo de la vida biológica. En la Tabla 1 se muestran las implicaciones de algunos metales en la salud humana.

**Tabla 1. Contaminantes inorgánicos comunes que causan enfermedades no infecciosas**

CONTAMINANTES INORGÁNICOS COMUNES QUE CAUSAN ENFERMEDADES NO INFECCIOSAS			
Contaminante Inorgánico	Fuente principal	Esfera más afectada	Efectos primarios en la salud
Arsénico	Beneficio de menas (extracción de un metal), refinación. Plaguicidas	Aire, Agua	Envenenamiento por arsénico (trastornos gastrointestinales, parálisis de miembros inferiores)
Asbesto	Aplicaciones resistentes al calor y la flama	Aire	Asbestosis (formación de cicatrices en pulmones) Carcinógeno.
Cadmio	Talleres de galvanoplastia, fabricantes de baterías.	Aire, Agua, Alimentos	Emanaciones de cadmio, dolor en articulaciones, afecciones pulmonares y renales. Posiblemente carcinógeno, teratogénico.
Plomo	Gasolina con plomo, baterías, soldadura, protección contra radiación.	Aire, Agua, Alimentos	Daña el sistema nervioso y la síntesis de glóbulos rojos de la sangre. Depende de la exposición.
Mercurio	Formación inorgánica, Artículos eléctricos, industria de cloro/álcali, forma orgánica, algicidas, fungicidas.	Agua, Alimentos	Inorgánico: trastornos del sistema nervioso central, posible psicosis. Orgánico: adormecimiento, dificultades para hablar, parálisis, deformidad, muerte.
Nitratos	Desagüe agrícola.	Agua, Alimentos	NO <sub>3</sub> se reduce a NO <sub>2</sub> (en el cuerpo).
Nitritos	Conservadores de carne.		NO <sub>2</sub> + aminos --> nitrosaminas. NO <sub>2</sub> + Fe <sup>+2</sup> --> metahemoglobinemia
Dióxido de azufre	Quema de combustibles que contienen azufre	Aire	Irritación del sistema respiratorio. Precursor de lluvia ácida, que es muy destructiva.
Particulados	Humo de combustión Polvo, polen, etcétera.	Aire	Puede dar origen a padecimientos cardiacos, respiratorios (enfisema, bronquitis). Los efectos en la salud son más notorios si los particulados están en combinación con otros contaminantes (ej: SO <sub>2</sub> )

Fuente: adaptado de Glynn, Henry J y Heinke, Gary W., (1999). Página 296

- Microcontaminantes orgánicos: hidrocarburos, compuestos aromáticos, policlorobifenilos (PCB), pesticidas, etc. Muchas moléculas orgánicas como petróleo, gasolina, plásticos, plaguicidas, disolventes, detergentes, etc. acaban en el agua y permanecen, en algunos casos, largos períodos de tiempo, porque, al ser productos fabricados por el hombre, tienen estructuras moleculares complejas difíciles de degradar por los microorganismos. En la Tabla 2 se muestran las implicaciones de algunos Microcontaminantes en la salud humana.

**Tabla 2. Contaminantes orgánicos comunes que causan enfermedades no infecciosas**

<b>CONTAMINANTES ORGÁNICOS COMUNES QUE CAUSAN ENFERMEDADES NO INFECCIOSAS</b>			
<b>Contaminante orgánico</b>	<b>Fuente principal</b>	<b>Esfera más afectada</b>	<b>Efectos primarios en la salud</b>
DDT	Aplicación como plaguicida en todo el mundo.	Agua, cadena alimenticia	Se bioacumula en tejidos grasos. Produce trastornos nerviosos. Reducción en la cuenta de glóbulos blancos. Persiste en el ambiente.
Dioxina (específicamente TCDD)	Impureza de manufactura de triclorofenoles que se utilizan en diversos biocidas. Emitida por aplicación o accidente.	Agua, cadena alimenticia	Extremadamente tóxica en forma concentrada, daños a riñones, hígado, y sistema nervioso. Potente teratógeno. Posible carcinógeno
Fenitrotión	Rocío insecticida en cultivos, terrenos forestales.	Agua, Aire	Sólo es tóxico para mamíferos en dosis grandes. Puede ser en parte causa de la iniciación del síndrome de Reye en niños.
Mirex	Insecticidas, retardante de flama en plásticos.	Agua, cadena alimenticia	Biológicamente activo, persistente. Su toxicidad varía con la especie. Se bioacumula en la cadena alimenticia
PCB	Dieléctrico, transferencia de calor y fluido hidráulico	Cadena alimenticia	Persiste en el ambiente. Probable carcinógeno, la exposición produce cloroacné, dolores de cabeza, trastornos visuales.
Cloroformo	Se usó en el pasado como anestésico. En la actualidad en bienes de consumo, productos farmacéuticos, plaguicidas. Se puede producir durante la cloración de abastecimientos de agua.	Alimentos, Agua	Toxicidad aguda en concentraciones altas. Daños al hígado y al corazón. Carcinógeno para los roedores
Trihalometanos (incluye el cloroformo)	Se produce accidentalmente en agua como consecuencia de ciertas sustancias orgánicas (ácidos húmicos, etc.)	Agua	Posibles carcinógenos.

Fuente: adaptado de Glynn, Henry J y Heinke, Gary W., (1999). Página 299

- **Microorganismos: Polución Bacteriológica:** Son los diferentes tipos de bacterias, virus, protozoos y otros organismos que transmiten enfermedades como el cólera, tifus, gastroenteritis diversas, hepatitis, etc. En los países en vías de desarrollo las enfermedades producidas por estos patógenos son uno de los motivos más importantes de muerte prematura, sobre todo de niños. Normalmente estos microbios llegan al agua en las heces y otros restos orgánicos que producen las personas infectadas. Por esto, un buen índice para medir la salubridad de las aguas, en lo que se refiere a estos microorganismos, es el número de bacterias coliformes presentes en el agua. La Organización Mundial de la Salud recomienda que en el agua para beber haya cero colonias de coliformes por 100 ml de agua (Sans F. Ramón, Ribas J. De Pablo, 1999).

Los microorganismos son la causa de muchos efectos sobre la salud por contaminación del agua. En la Tabla 3 se ven las implicaciones de los microorganismos en la salud humana.

**Tabla 3. Efectos de los microorganismos en la salud**

MICROORGANISMOS PATÓGENOS		
TIPO DE ORGANISMO	ENFERMEDAD	AGENTES Y EFECTOS
BACTERIAS	Fiebre tifoidea y paratifoidea	Las heces y la orina de ciertos casos y de portadores de agua contaminada, leche, alimentos y moscas. Presentan: Diarrea, vómitos severos, inflamación del bazo, inflamación de los intestinos; a menudo fatal si no es tratada.
	Cólera	Las heces o portadores de agua contaminada, leche, alimentos o incluso a través de moscas; la oleada inicial del cólera epidémico se transmite por agua. Presenta: Diarrea, vómitos severos, deshidratación; a menudo fatal si no es tratada.
	Disentería bacteriana	Presenta: Diarrea, raramente fatal excepto en niños si no se sigue tratamiento apropiado.
	Enteritis	Presenta: Dolor severo del estómago, náusea, vómitos; raramente fatal.
VIRUS	Hepatitis infecciosa	Los brotes se han relacionado con agua, leche y alimentos contaminados, incluso mariscos. Presenta: Fiebre, dolor de cabeza severo, pérdida de apetito, dolor abdominal, ictericia, inflamación del hígado; raramente fatal pero puede causar daño irreversible del hígado.
PROTOZOOS PARÁSITOS	Disentería amébrica	Transferencia de mano a boca, contaminación por verduras crudas, moscas, manos sucias de manipuladores de alimentos y agua. Presenta: Diarrea severa, dolor de cabeza, dolor abdominal, escalofríos, fiebre; si no es tratada puede causar absceso del hígado, la perforación del intestino y la muerte.
	Giardiasis	Los quistes de Giardia Lamblia de las heces de humanos contaminan el agua. Presenta: Diarrea, calambres abdominales, flatulencia, eructos y fatiga.
	Criptosporidiosis	Los oquistes de Cryptosporidium parvum se expelen en las heces. Los brotes tienen relación con abastecimientos de agua contaminados. Presenta: Dolor abdominal, diarrea severa.
GUSANOS Y PARÁSITOS	Esquistosomiasis	Los huevos de Schistosoma mansoni y S. japonicum salen con las heces de humanos y de S. hematobium con la orina para seguir su ciclo en agua a través de tipos específicos de caracoles, hasta la forma de cercaria que penetra la piel humana; los animales domésticos y los roedores silvestres albergan S. japonicum. Presenta: Dolor abdominal, erupción de la piel, anemia, fatiga crónica, mala salud crónica general.

Fuente: adaptado de Glynn, Henry J y Heinke, Gary W., (1999). Página 281

### **2.2.2. Origen de los contaminantes**

El origen de los contaminantes puede ser variado, donde hay una contaminación natural, pero al tiempo puede existir otra muy notable de procedencia humana, por actividades agrícolas, ganaderas o industriales, llamada contaminación antropogénica (Nebel y Wright, 1996).

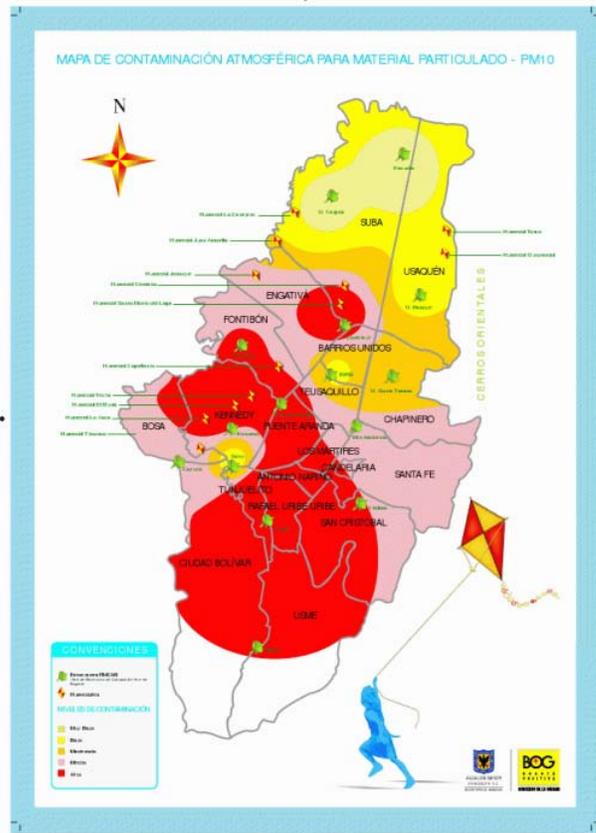
La contaminación natural es la que existe siempre, originada por restos animales y vegetales, minerales y sustancias que se disuelven, cuando los cuerpos de agua atraviesan diferentes terrenos, ya sea el agua que cae en la lluvia que por enfriamiento de las nubes arrastra impurezas del aire, o también al circular por la superficie o a nivel de capas profundas, se le añaden otros contaminantes químicos, físicos o biológicos. Puede contener productos derivados de la disolución de los terrenos: calizas, calizas dolomíticas, yeso, anhidrita, sal, cloruro potásico, silicatos, oligoelementos, nitratos, hierro, potasio, cloruros, fluoruros, así como materias orgánicas.

La contaminación antropogénica va apareciendo a medida que el hombre comienza a interactuar con el medio ambiente, va surgiendo con la inadecuada aglomeración de las poblaciones y como consecuencia del aumento desmesurado y sin control alguno de industrias, desarrollo y progreso. Hay cinco fuentes fundamentales de contaminación que se nombraran a continuación:

- Aguas domésticas o urbanas: es la contaminación producida por los hogares al verter gran cantidad de residuos orgánicos e inorgánicos, material rico en bacterias. La contaminación producida por los automóviles en las ciudades y carreteras con emisión de humos que son depositados por la lluvia, emisiones industriales, lluvia ácida; además de los vertidos incontrolados de aceite de motor, líquidos de frenos etc., agentes muy contaminantes.
- Aguas residuales industriales: es producida por los vertidos que las industrias realizan directamente en los ríos o en la atmósfera por medio de las chimeneas de expulsión de humos. Las diferentes partículas expulsadas al aire se

depositan con la lluvia en el suelo y se filtran hacia los acuíferos subterráneos contaminando las aguas.

- Escorrentías de usos agrícolas: es aquella contaminación que se produce por el tratamiento de productos con herbicidas y abonos químicos, arrastran fertilizantes (nitratos y fosfatos) y pesticidas que son una de las causas de eutrofización de lagos y pantanos; también se incorporan en el agua por filtración del terreno hacia las aguas subterráneas.
- Escorrentías pluviales: en zonas urbanizadas pueden tener gran importancia, ya que recoge las impurezas generadas por las ciudades en la atmósfera, los desechos generados por el hombre, entre otros, y las regresa en forma de lluvia (*Ramalho R.S., 1996*).
- La contaminación atmosférica de la ciudad de Bogotá se basa en dos principales fuentes: las móviles que representan cerca del 60 % de la carga contaminante y las fuentes fijas con una participación del 40 % en la contaminación. Las fuentes móviles se ven alteradas en la mala calidad de los combustibles, una falta de mantenimiento del parque automotor, una alta participación de vehículos en la ciudad y por ende una congestión vehicular elevada. Por otro lado las fuentes móviles se alteran por la mala utilización en tecnologías y la utilización de combustibles inadecuados y la infraestructura industrial la cual genera gran impacto ambiental. En la Ilustración 2 se muestra la contaminación representada en partículas por millón de la atmosfera; donde se analiza que la localidad Chapinero, lugar donde se acentúa la Universidad Javeriana presenta una contaminación moderada. (*Nieto E., 2008*)



**Ilustración 2. Mapa de contaminación atmosférica en Bogotá de hollín, polvo y humo. Nieto E., 2008.**

**2.2.3 Concentraciones típicas de los contaminantes**

En la Tabla 4 se muestra que las concentraciones de contaminantes presentados en los VUTL son comparables en magnitud a las concentraciones de las aguas residuales urbanas típicas.

**Tabla 4. Concentraciones de algunos contaminantes en los diferentes vertimientos urbanos.**

PARÁMETRO	AGUA RESIDUAL URBANA (mg/L)	VERTIMIENTOS PLUVIALES SEPARATIVOS (mg/L)	VERTIMIENTOS PLUVIALES UNITARIOS (mg/L)
SST	150-500	21-2600	176-2500
% MO en SST	70-80 %	18-30 %	40-65 %
DQO	300-1000	20-500	42-900
DBO5	100-400	3-184	15-301
NTK	30-100	abr-20	21-28,5
N - NH4	20 - 80	0,2 - 4,6	3,1 - 8,0
Pt	10 - 25	0,02 - 4,3	6,5 - 14,0

Fuente: adaptado de Ellis (1991), Philippe y Ranchet, (1987), Degrémont (1989)

Las concentraciones de los vertimientos urbanos son muy variables. Las variaciones alcanzan fácilmente una relación de 1 a 10 para una misma cuenca, dependiendo de las características de la lluvia, del periodo seco anterior, del estado de la red, del mantenimiento de las vías, de la estación, etc. (Torres, 2004).

Existen diferentes valores de concentraciones representativas de los VUTL en función de la urbanización, en la Tabla 5 se observan dichas concentraciones.

**Tabla 5. Concentraciones medias de vertimientos pluviales separativos en función de la Urbanización.**

PARÁMETROS	CONCENTRACIONES MEDIAS DE VERTIMIENTOS DE ALCANTARILLADOS PLUVIALES (mg/L)			
	Zona residencial	Zona mixta	Zona comercial	Zona no urbana
SST	101	67	69	70
DQO	73	65	57	40
DBO5	10	7,8	9,3	-
NTK	1,9	1,3	1,2	0,9
PTOTAL	0,4	0,3	0,2	0,12

Fuente: adaptado de Stahre y Urbonas (1990)

La concentración de contaminantes presentes en el agua de escorrentía urbana, también está directamente relacionada con el uso que se le da al suelo o superficie, la calidad de las aguas urbanas varía con la proporción de contribuyentes residenciales, comerciales e industriales y con la naturaleza de los residuos industriales que el sistema recibe. La concentración de contaminantes de las aguas domésticas se puede estimar con base en la contribución diaria per cápita si se conoce el uso de agua; en la Tabla 6 se muestran los valores típicos de algunos contaminantes. (Glynn, Henry J y Heinke, Gary W., 1999)

**Tabla 6. Características de las aguas urbanas con base en contribuciones per cápita de aguas domésticas**

	PARÁMETRO								
	DBO5	SS	SD	DQO	COT	P1	P2	N1	N2
<b>Per Cápita</b>									
<b>g/día</b>	76,00	90,00	180,00	128,00	54,00	1,60	4,00	16,00	0,00
<b>lb/día</b>	0,17	0,20	0,40	0,28	0,12	0,00	0,01	0,04	0,00
<b>Concentración (mg/L)b</b>	190,00	225,00	450,00	320,00	135,00	40,00	10,00	40,00	0,00

Fuente: adaptado de Glynn, Henry J y Heinke, Gary W., (1999), Página 427.

En la Tabla 7 se pueden ver los valores representativos de contaminantes en los diferentes tipos de aguas urbanas. Cualquiera de estos puede ser una causa importante de preocupación la mayor parte del tiempo o sólo puede ser un problema ocasional (Glynn, Henry J y Heinke, Gary W., 1999).

**Tabla 7. Valores representativos de contaminantes en aguas urbanas**

VALORES REPRESENTATIVOS DE CONTAMINANTES EN AGUAS RESIDUALES								
Tipo de aguas residuales	Municipal (R+C+I)	Industrial (de proceso)						Agua pluvial (desague anal)
Parámetro	Pequeña	Mediana	Grande	Alimentos	Carnes	Recubrimiento con metales	Textil	Pequeña/media/ grande
Volumen (L) /cápita/día	400	500	600	---	---	---	---	---
/tonelada/producto	---	---	---	10.000	12.000	---	100.000	---
% de desague	---	---	---	---	---	---	---	30/35/45
MPN (106/100 mL)	100,00	80,00	70,00	0,00		0,00	0,00	0,01
DBO5	190,00	240,00	300,00	1.200,00	640,00	0,00	400,00	14,00
DQO	320,00	400,00	500,00	---	---	---	---	100,00
COT	135,00	170,00	215,00	---	---	---	---	---
Sólidos en susp,	225,00	300,00	350,00	700,00	300,00	0,00	100,00	170,00
Sólidos disueltos	450,00	600,00	700,00	---	200,00	---	1.900,00	170,00
N total	40,00	30,00	25,00	0,00	3,00	0,00	0,00	3,50
P total	10,00	8,00	7,00	0,00	---	0,00	0,00	0,35
pH	7,00	7,00	7,00	---	7,00	4 o 10	10,00	---
Cobre	0,14	0,17	0,27	0,29	0,09	6,00	0,31	0,46
Cadmio	0,00	0,01	0,02	0,01	0,01	1,00	0,03	0,03
Cromo	0,04	0,08	0,16	0,15	0,15	11,00	0,87	0,16
Níquel	0,01	0,06	0,11	0,11	0,07	12,00	0,25	0,15
Plomo	0,05	0,10	0,20	---	---	---	---	---
Zinc	0,19	0,29	0,38	1,08	0,43	9,00	0,47	1,60

Fuente: adaptado de Glynn, Henry J y Heinke, Gary W., (1999), Página 430.

Por otro lado en la Tabla 8 se ven los metales que están presentes en los VUTL como: el plomo, zinc, cobre, cadmio, hierro, mercurio, manganeso, etc. De los cuales los más importantes y representativos son: Cadmio el cual proviene de los residuos de procesos industriales, desgaste de los neumáticos, residuos de combustión. El Plomo cuyo origen es de los carburantes y procesos industriales. El Zinc viene del desgaste

de neumáticos, aceites de automóviles, incineración de basuras domésticas, corrosión de los metales en tejados y canaletas (Torres, 2004).

**Tabla 8. Concentraciones medias en metales para diferentes tipos de VUTL**

PARÁMETRO	CONCENTRACIONES MEDIAS EN METALES		
	VERTIMIENTOS PLUVIALES SEPARATIVOS	VERTIMIENTOS PLUVIALES UNITARIOS	TODOS LOS VERTIMIENTOS PLUVIALES
Cd	-	-	1 -60
Cu	-	-	10 - 750
Pb	10 - 3100	80 - 450	40 - 2610
Zn	10 - 3680	100 - 1070	50 - 2550

Fuente: adaptado de Ellis (1991), Levy y Lara (1992).

Los hidrocarburos saturados son compuestos alifáticos y alicíclicos, sintetizados por los vegetales y de origen petrolero. Los flujos de estos contaminantes son variables según la urbanización de la zona, pero el parámetro más determinante es la densidad del tráfico automotor. Los sitios más contaminados son las autopistas y las zonas industriales; en la Tabla 9 se muestran las concentraciones de hidrocarburos dependiendo del tipo de red que esté en la zona (Torres, 2004).

**Tabla 9. Concentraciones de Hidrocarburos en VUTL**

HIDROCARBUROS (mg/L)	REDES UNITARIAS	REDES SEPARATIVAS
Min	4,1	1,5
Med	5,5	5,0
Máx	9,2	9,3

Fuente: adaptado de Chocat (1992).

Los vertimientos de los vertederos de tormenta conducen una importante contaminación bacteriológica, ya que ellos provienen de las redes unitarias y su impacto sobre el medio receptor puede durar de varios días a una semana. En la Tabla 10 se ve la concentración de los coliformes totales, fecales y de estreptococos fecales, los cuales varían dependiendo del tipo de red de transporte. Se ha podido concluir que la concentración de bacterias es proporcional al caudal o a la intensidad de lluvia (Torres, 2004).

**Tabla 10. Órdenes de magnitud de polución bacteriológica de los VUTL (Nº/100mL)**

TIPO DE RED	Coliformes Totales	Coliformes Fecales	Estreptococos Fecales
Separada	$10^4 - 10^7$	$10^3 - 10^6$	$10^2 - 10^5$
Unitaria	$10^5 - 10^8$	$10^4 - 10^6$	$10^3 - 10^6$

Fuente: adaptado de Bertrand-Krajewski, (1999/2000)

Los sólidos también presentan un nivel de importancia en cuanto a sus concentraciones, debido a que dichas partículas en suspensión son el soporte principal de la contaminación de los VUTL. Por lo general más del 70 % de los sólidos transportados en suspensión tienen un tamaño inferior a 100  $\mu\text{m}$ . La proporción de partículas superiores a 100  $\mu\text{m}$  aumenta con la altura y la intensidad de la lluvia, ya que el impacto de las gotas de agua y la escorrentía permite el transporte de partículas más gruesas (Torres, 2004).

### **2.3. Análisis estadístico**

El análisis estadístico trata sobre las teorías que se utilizaron para realizar los estudios de la investigación, los cuales se implementaron en los programas realizados en MatLab para optimizar el cálculo de los resultados para el posterior análisis. Se presentan el análisis de las incertidumbres asociadas, el método de Montecarlo, la agrupación por clúster y los diagramas de caja.

#### **2.3.1. Análisis de incertidumbres asociadas**

El proceso de medición involucra el uso de instrumentos, los cuales siempre tienen asociada una incertidumbre, que a su vez se relaciona con la resolución de dicho instrumento. Lo que se puede proponer es un rango de valores dentro del cual debe encontrarse el valor real. Las dos formas más comunes de expresar este rango es mediante un intervalo, determinando un valor mínimo límite y un valor máximo límite:  $[X_{\min}-X_{\max}]$  o como un valor central  $\pm$  una incertidumbre.

La incertidumbre es un parámetro que establece un intervalo - alrededor del resultado de medición – de los valores que también podrían haberse obtenido durante la medición con cierta probabilidad. En la determinación de la incertidumbre deben

tenerse en cuenta todas las fuentes de variación que puedan afectar significativamente a la medida (Rodríguez Saucedo, 2007).

Los instrumentos se clasifican de acuerdo a su tipo de escala como instrumentos discretos o continuos. En los instrumentos discretos no se pueden hacer apreciaciones intermedias dentro de la mínima división de su escala, un ejemplo claro lo constituyen los instrumentos con escala digital. Es por ello que a este tipo de instrumentos se les asocia una incertidumbre igual a su resolución (resolución del instrumento = división más pequeña de su escala). Por el contrario, en los instrumentos continuos, sí es posible hacer estimaciones intermedias dentro de la mínima división de la escala. Es por ello que a este tipo de instrumentos se le asocia una incertidumbre igual a la mitad de su resolución.

También hay que tener en cuenta el tipo de mediciones, las cuales pueden ser directas o indirectas. Las mediciones directas se obtienen cuando se obtiene el valor de una magnitud de interés directamente de la lectura de un instrumento, sin necesidad de involucrar ninguna operación matemática (medir la longitud de un objeto). Y las mediciones indirectas se obtienen cuando no es posible obtener el valor de la magnitud de interés directamente de la lectura de un instrumento, y es necesario hacer cálculos matemáticos para obtenerlo (El cálculo del área de una superficie). Para obtener las incertidumbres asociadas con mediciones indirectas es necesario realizar un procedimiento matemático conocido como propagación de incertidumbres.

El modelo matemático supone aproximaciones originadas por la representación imperfecta o limitada de las relaciones entre las variables involucradas. Considerando a la medición como un proceso, se identifican magnitudes de entrada denotadas por el conjunto  $(X_i)$ . Expresión en la cual el índice  $i$  toma valores entre 1 y el número de magnitudes de entrada  $N$ . La relación entre las magnitudes de entrada y el mensurando  $Y$  como la magnitud de salida se representa como una función

$$Y = f(X_i) = f(X_1, X_2, \dots, X_N)$$

*Ecuación 1*

Representada por una tabla de valores correspondientes, una gráfica o una ecuación, en cuyo caso para los fines de este documento se hará referencia a una relación funcional.

Se llama  $x_i$  al mejor estimado de las magnitudes de entrada  $X_i$ .

Los valores de las magnitudes de entrada pueden ser resultados de mediciones recientes realizadas por el usuario o tomados de fuentes como certificados, literatura, manuales, etc.

El mejor estimado del valor del mensurando es el resultado de calcular el valor de la función  $f$  evaluada en el mejor estimado de cada magnitud de entrada,

$$y = f(x_1 + x_2 + \dots x_N) \quad \text{Ecuación 2}$$

En algunas ocasiones se toma el mejor estimado de  $Y$  como el promedio de varios valores  $y_j$  del mensurando obtenidos a partir de diversos conjuntos de valores  $(X_i)_j$  de las magnitudes de entrada (Schmid y Lazos, 2000).

El valor de las incertidumbres asociadas a mediciones indirectas, obviamente dependerá de las incertidumbres correspondientes a las mediciones directas utilizadas para obtener los los valores indirectos.

La propagación de incertidumbres para magnitudes no correlacionadas está dada por:

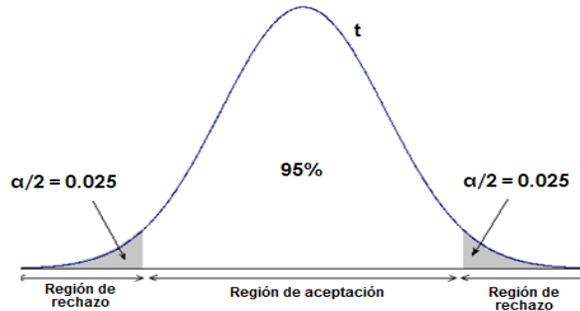
$$\mu^2(f) \sum_{i=1}^N \left\{ \frac{\partial f}{\partial X_i} \right\}^2 \mu^2(x_i) \quad \text{Ecuación 3}$$

Basada en las series de Taylor (donde  $Y = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ ), permite asignar un nivel de confianza a la incertidumbre combinada ( $\mu$ ) (Rodríguez Saucedo, 2007).

Al tener una serie de tres repeticiones la Ley de propagación de incertidumbre queda simplificada de esta manera:

$$\mu^2(f) = \left\{ \frac{\partial f}{\partial X_1} \right\}^2 \mu^2(X1) + \left\{ \frac{\partial f}{\partial X_2} \right\}^2 \mu^2(X2) + \left\{ \frac{\partial f}{\partial X_3} \right\}^2 \mu^2(X3) \quad \text{Ecuación 4}$$

Permitiendo expresar los resultados obtenidos en cada proceso de medición, de acuerdo a los umbrales de precisión y exactitud establecidos durante la estandarización de ensayos (Dávila, et al. 2007), los valores de incertidumbre se presentan con una confiabilidad del 95 % (Ilustración 3).



**Ilustración 3. Regiones de aceptación y rechazo de acuerdo a una confiabilidad del 95 %.**  
*Tomado de Pértega y Pita, 2001.*

### **2.3.2 Método de Montecarlo**

El método Montecarlo es un método numérico que permite resolver problemas físicos y matemáticos mediante la simulación de variables aleatorias. Fue bautizado “El método Montecarlo” por su clara analogía con los juegos de ruleta de los casinos, el más célebre de los cuales es el de Montecarlo, casino cuya construcción fue propuesta en 1856 por el príncipe Carlos III de Mónaco, siendo inaugurado en 1861. Las aplicaciones de los métodos de Montecarlo requieren cantidades grandes de números al azar y de su uso, el cual estimuló el desarrollo de generadores del número pseudaleatorio, que eran más rápidos de utilizar que las tablas de los números al azar que habían sido utilizados previamente para el muestreo estadístico.

El método empezó a utilizarse de modo sistemático en 1944 con los trabajos de Ulam, Metrópolis y J. Von Neumann en el área de la tecnología nuclear y se ha ido aplicando con profusión a otras áreas, entre ellas, el análisis de factibilidad (Creus A, 2005).

Se utilizan técnicas de muestreo aleatorio (definiendo las variables aleatorias  $\theta$  y sus funciones de densidad de probabilidad significativas  $f(\theta)$ ) y cada serie de cálculos

equivale a realizar una jugada, con la consiguiente puntuación  $p$  resultado numérico. El juego que se efectúa está proyectado de tal forma que el valor esperado de la puntuación es aquella cantidad matemática o física que el jugador desea obtener. Por lo tanto, si se realiza el número suficiente de jugadas ( $N$  jugadas), de acuerdo con el teorema del límite central, la puntuación media se aproxima al valor esperado por el jugador, quien ha prefijado la cantidad para calcular y que es una variable aleatoria  $X$  llamada estimador y de magnitud  $U$ . Al final de los cálculos, se determina la media del estimador con los números obtenidos en cada jugada (Quevedo, 2006). Su valor es:

$$X = \left(\frac{1}{N}\right) \sum X_i \quad \text{Ecuación 5}$$

Cantidad que representa la magnitud  $U$ .

En estos métodos el error es aproximadamente  $\left(\frac{1}{\sqrt{N}}\right)$ . Donde  $N$  es el número de pruebas y, por tanto, ganar una cifra decimal en la precisión implica aumentar  $N$  en 100 veces. La base es la generación de números aleatorios de que sirven para calcular probabilidades. Conseguir un buen generador de estos números así como un conjunto estadístico adecuado sobre el que trabajar son las primeras dificultades encontradas a la hora de utilizar este método. La ley de los grandes números que establece que si la media de la muestra (cuya posibilidad tiende a 1 si el número  $N$  tiende a infinito) se aproxima a la media de la población, entonces la precisión en la estimación de una cantidad es tanto más alta cuanto mayor sea el tamaño de la muestra (Creus A, 2005).

El método de Montecarlo se utiliza para simular operaciones complicadas que tienen muchos factores aleatorios que se activan recíprocamente, para comprobar la aplicabilidad de métodos analíticos más simples y aclarar las condiciones de su aplicación. El método de Montecarlo se utilizó para realizar el cálculo de números aleatorios en el programa de las incertidumbres asociadas, en el cual se tienen como datos de entrada tres valores con los cuales se busca sacar el promedio teniendo como base 5000 números aleatorios hallados por el método de Montecarlo a partir de los tres datos de entrada, para tener valores más confiables de la incertidumbre y el promedio.

### **2.3.3 Teoría de clúster**

Los análisis de Clústeres, conocidos también como Análisis por Taxonomía Numérica, Análisis de Conglomerados o Reconocimiento de Patrones, fue el método de partida con la finalidad de dividir un conjunto de objetos en grupos, de forma tal que los perfiles de los objetos en un mismo grupo sean muy similares entre sí (cohesión interna del grupo) y los de los objetos de clústeres diferentes sean distintos (aislamiento externo del grupo). Por esta razón, los análisis de clústeres no miden la igualdad de los datos incluidos, sólo analizan el parecimiento entre unos puntos y otros (Figueras, 2001; Anderson, 2006; Sáenz, *et al.*, 2007).

La obtención de dichos clústeres depende del criterio o distancia considerados; así, por ejemplo, una baraja de cartas españolas se podría dividir de distintos modos: en cuatro clústeres (los cuatro palos), en ocho clústeres (los cuatro palos y según sean figuras o números), en dos clústeres (figuras y números). Es decir, todo depende de lo que sea considerado como similar (Marín Diaz Araque, 2009).

Esta teoría se utilizó para hacer una comparación gráfica de los puntos de muestreo que se implementaron en el campus de la Universidad y tener referencias respecto a la similitud de dichos puntos.

### **2.3.4 Análisis de varianza Anova**

El análisis de varianza sirve para comparar si los valores de una muestra de datos numéricos son significativamente distintos a los valores de otra o más muestras de datos. El procedimiento para comparar estos valores está basado en la varianza global observada en los grupos de datos numéricos a comparar. Típicamente, el análisis de varianza se utiliza para asociar una probabilidad a la conclusión de que la media de un grupo de puntuaciones es distinta de la media de otro grupo de puntuaciones. Esta teoría (ANOVA) fue desarrollada por Fisher en 1925 (Spiegel, 1991). En contrastes de hipótesis, en Estadística, el valor- $p$  está definido como la probabilidad de obtener un resultado al menos tan extremo como el que realmente se ha obtenido, suponiendo que

la hipótesis nula es cierta. Es fundamental tener en cuenta que el p-valor está basado en la asunción de la hipótesis de partida (o hipótesis nula). Se rechaza la hipótesis nula si el valor-p asociado al resultado observado es igual o menor que el nivel de significación establecido, convencionalmente 0,05 ó 0,01, punto que se llama potencia del contraste. Es decir, el valor-p nos muestra la probabilidad de haber obtenido el resultado que hemos obtenido si suponemos que la hipótesis nula es cierta. Si el valor-p es inferior a la potencia del contraste nos indica que lo más probable es que la hipótesis de partida sea falsa (Schervish, 1996).

### **2.3.5 Análisis por T-Test**

El análisis por T-Test es el test estadístico de referencia para establecer diferencias significativas entre medias de distribuciones normales. Una de las suposiciones de este test es que las poblaciones a estudiar tengan varianzas iguales. Con cierta frecuencia, no obstante, surge en estadística la necesidad de determinar diferencias entre medias en poblaciones normales pero con varianza no igual. El cálculo de T-Test para dos muestras independientes con varianza distinta se puede realizar utilizando una modificación del T-Test para el caso conocido como el test de Welch basada en la ecuación 6:

$$t = \frac{(\bar{X} - \bar{Y})}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n} + \frac{S_2^2}{m}}} \quad \text{Ecuación 6}$$

Siguiendo una distribución t de Student con un número f de grados de libertad que dependerá de las varianzas muestrales según la expresión de la ecuación 7:

$$df = \frac{\left(\frac{S_1^2}{n} + \frac{S_2^2}{m}\right)^2}{\frac{\left(\frac{S_1^2}{n}\right)^2}{n-1} + \frac{\left(\frac{S_2^2}{m}\right)^2}{m-1}} \quad \text{Ecuación 7}$$

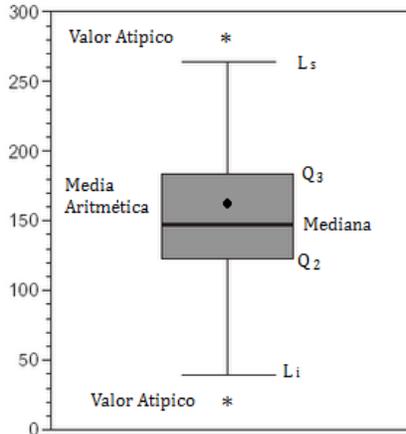
La técnica para realizar el contraste es análoga a la vista anteriormente cuando las varianzas son desconocidas e iguales (Berry y Armitage, 1994).

### **2.3.6 Diagrama de cajas**

El nombre original del gráfico introducido por Jhon Tukey en 1977 es box and whisker plot, es decir, diagrama de caja y bigote. En efecto, el gráfico consiste en un rectángulo (caja) de cuyo lado superior e inferior se derivan respectivamente dos segmentos: uno hacia arriba y uno hacia abajo (bigotes).

Tomando como referencia la diferencia entre el primer cuartil ( $Q_1$ ) y el tercer cuartil ( $Q_3$ ), o valor intercuartil, en un diagrama de caja se considera un valor atípico el que se encuentra 1,5 veces esa distancia de uno de esos cuartiles (atípico leve) o a 3 veces esa distancia (atípico extremo).

Las partes del Diagrama de Caja se identifican según la siguiente ilustración:



**Ilustración 4. Diagrama de Caja presentación propia del autor**

Donde  $L_s$  es el extremo superior del bigote. Tercer cuartil ( $Q_3$ ): Por debajo de este valor se encuentran como máximo el 75 % de las opiniones de los datos. Mediana: Coincide con el segundo cuartil, la cual divide a la distribución en dos partes iguales. De este modo, 50 % de las observaciones están por debajo de la mediana y 50 % está por encima. Primer cuartil ( $Q_1$ ): Por debajo de este valor se encuentra como máximo el 25 % de las opiniones de los datos. Límite inferior ( $L_i$ ): Es el extremo inferior del bigote.

Las datos que se encuentran por debajo de este valor se consideran atípicas (datos que están apartadas del cuerpo principal. Pueden representar efectos de causas extrañas, opiniones extremas o en el caso de la tabulación manual, errores de medición o registro. Se colocan en la gráfica con asteriscos (\*). Media aritmética: Es el promedio. Originalmente no forma parte del Diagrama de Caja, sin embargo, se consideró su inclusión (Peña N, 2006).

Los diagramas de caja se implementan el programa de las incertidumbres asociadas, el cual es de gran ayuda para poder hacer descarte de datos a nivel gráfico y también se utilizaron para la comparación con las normas de los diferentes usos del agua frente a los resultados obtenidos.

Los datos atípicos (outliers) corresponden a registros mayores o menores de lo esperado, que se detectan por tener residuos “inusuales”, muy grandes o muy pequeños con relación a la distribución asociada a los residuos.

Los valores atípicos pueden ser indicativos de datos que pertenecen a una población diferente del resto de la muestra establecida. Este tipo de valores afecta gravemente a la correlación, sobre todo si se trabaja con muestras pequeñas. La forma más explícita de ver los valores atípicos es mediante la realización de un diagrama de caja. La inspección del diagrama es esencial para detectar este problema, que puede deberse desde una mala introducción de la información a la mezcla de datos correspondientes a distribuciones distintas.

### **3. MATERIALES Y MÉTODOS**

La parte experimental de este trabajo consistió en recolectar agua lluvia de escorrentía en diferentes puntos, escogidos estratégicamente en la zona alta de la Pontificia Universidad Javeriana sede Bogotá (PUJB). Para cada evento lluvioso se tomó la muestra de agua necesaria (aproximadamente 5 litros) para realizarle el análisis requerido. Dicho análisis fue realizado principalmente en el Laboratorio de Pruebas y Ensayos del Departamento de Ingeniería Civil de la PUJB, donde se realizaron la mayoría de ensayos. Se tuvieron en cuenta otros laboratorios externos, debido a la disponibilidad de equipos y la peligrosidad en la realización de algunos ensayos; los laboratorios fueron: microbiología de la PUJB, laboratorio de Análisis Ambiental y Geoquímica (ANTEK S.A.) y el laboratorio ANALQUIM LTDA.

A continuación se describirá en detalle los materiales y métodos relacionados con: el sitio experimental, la experimentación en el campus, experimentación en el laboratorio, diferentes normas de comparación y programas a implementar en el trabajo.

#### **3.1. Campus de la Pontificia Universidad Javeriana sede Bogotá (PUJB)**

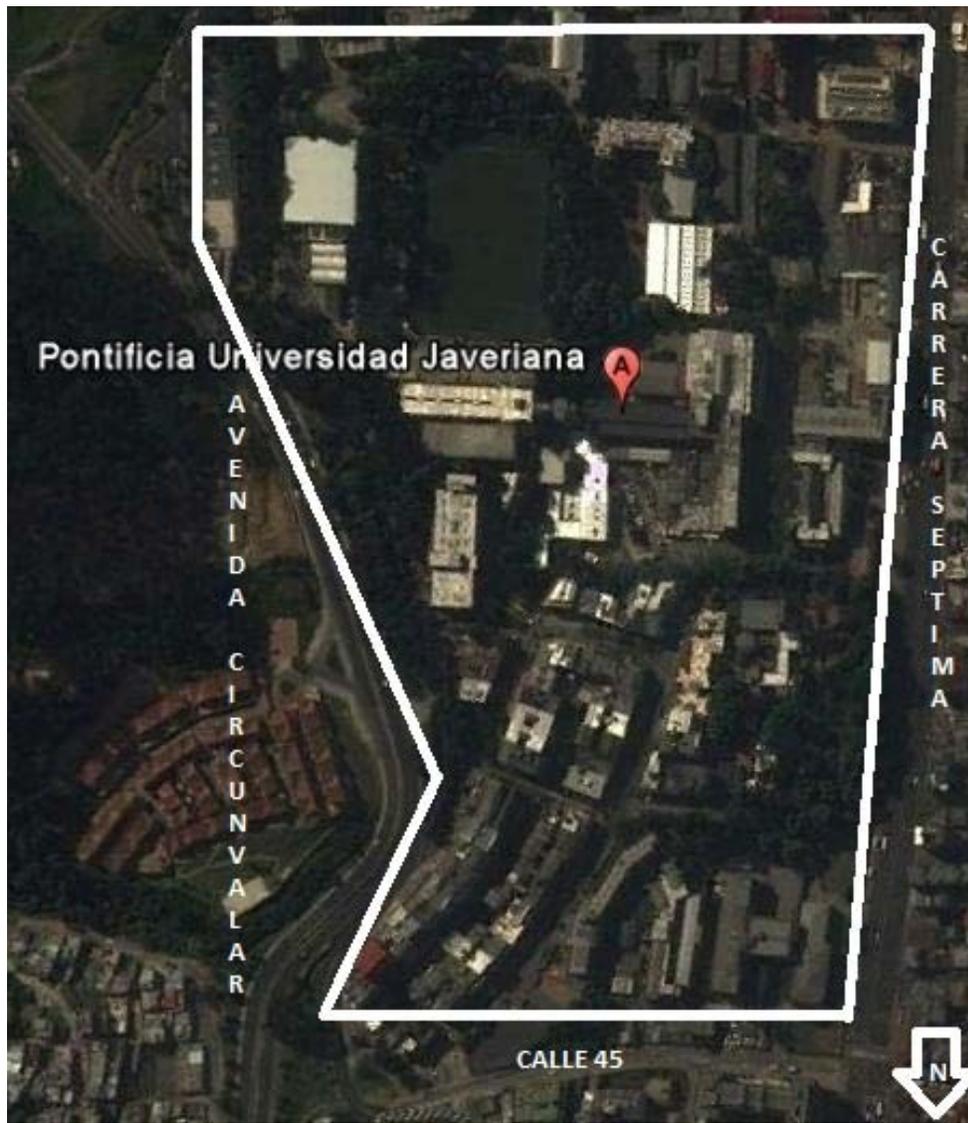
Se realizó una descripción y ubicación del campus universitario, en la cual se hizo una inspección detallada de las estructuras del campus, acompañada de una investigación para determinar los usos del agua y sus respectivos consumos.

##### ***3.1.1. Descripción del Campus***

La Pontificia Universidad Javeriana sede Bogotá PUJB, fue creada en el año de 1623, tras un largo trayecto educativo fue suspendida en 1767 y nuevamente se restableció en el Colegio San Bartolomé contiguo al parque nacional en el año de 1930; desde entonces el campus universitario se ha venido actualizando hasta llegar a lo que es hoy en día.

Actualmente, el campus de la PUJB se encuentra en la ciudad de Bogotá entre las calles 40 y 45, y entre la carrera séptima y la Av. Circunvalar (Ilustración 5). El campus

universitario cuenta con 18 hectáreas de terreno y aproximadamente 174.900 metros cuadrados de construcción. En él, se ubican 45 edificios, 18 cafeterías, un edificio de 1.200 parqueaderos y una agencia de viajes. Cuenta con el Centro Javeriano de Formación Deportiva, campo de fútbol de grama sintética, y una biblioteca que cuenta con un área de 8.650 metros cuadrados.



***Ilustración 5. Vista general del Campus de la Pontificia Universidad Javeriana.***

### **3.1.2 Usos y cantidad del agua en el campus universitario**

Teniendo en cuenta la infraestructura del campus universitario se realizó un análisis para evaluar los usos del agua. Se hizo una auscultación a cada edificio donde se logró establecer diferentes usos que inicialmente no se conocían. Para este análisis no se tuvo en cuenta el Hospital San Ignacio, debido a la complejidad de servicios e imposibilidad de ingreso en algunos sectores.

Durante el proceso de recopilación de información, se logró conocer una serie de usos (Tabla 11). Paralelamente, se determinaron las diferentes áreas de interés del campus, las cuales incluyeron edificios, campus principal, zonas verdes y duras.

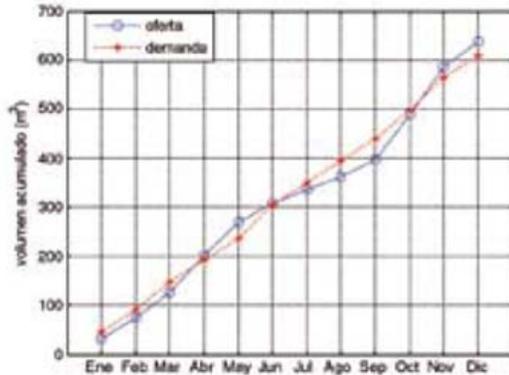
**Tabla 11. Usos del agua en el campus de la PUJB.**

<b>No.</b>	<b>Tipo de Uso</b>
1	Lavado de pisos
2	Riego de jardines externos
3	Inodoros
4	Lavado zonas duras
5	Lavamanos laboratorios
6	Lavado fachadas
7	Lavamanos
8	Laboratorios
9	Oficinas
10	Lavado de autos
11	Orinales
12	Cafeterías
13	Bebida y cocina, lavado de platos
14	Anfiteatro
15	Pocetas
16	Otros

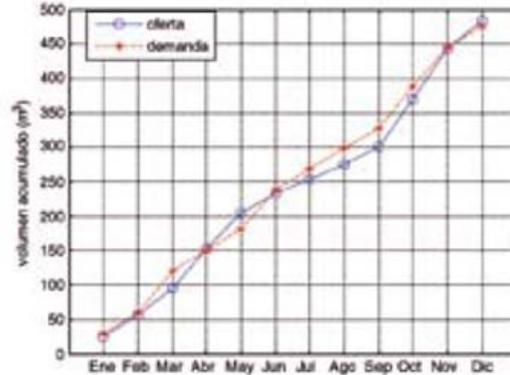
Teniendo en cuenta los datos de Lara, et al, 2007, en donde se calculó el volumen de almacenamiento en los puntos seleccionados mediante diagramas de masas. Aunque existe una buena oferta de agua lluvia, no es necesario almacenar tal volumen es apenas del 6.5 % para el punto en la Facultad de Ingenieria y del 9% para la zona del campo de futbol, del volumen total de la oferta en cada uno de estos puntos (total

anual demanda/total anual oferta), como se ven en la Ilustración 6. A partir de la ilustración los volúmenes requeridos para cada punto son de 51 m<sup>3</sup> y 73 m<sup>3</sup>, respectivamente.

IN10



IN8



**Ilustración 6. Diagramas de volúmenes acumulados, para calcular el volumen de almacenamiento (Lara, et al, 2007)**

### 3.2 Experimentación en Campus

La experimentación en campus consistió en la selección de los puntos de muestreo, para lo cual se tuvo en cuenta investigaciones anteriores, en las cuales las condiciones topográficas y la parte alta del campus universitario situadas alrededor del campo de fútbol, fueron las más relevantes para realizar un posible aprovechamiento debido a la ubicación y a las aéreas grandes de recolección de agua lluvia de escorrentía. También se realizó paso a paso la metodología de toma de muestras de los puntos seleccionados anteriormente.

#### 3.2.1 Puntos de muestreo

Retomando la información proveniente de los estudios anteriores (oferta – demanda), se concluyó que los volúmenes de agua lluvia son suficientes para satisfacer las demandas diarias en el campus solamente para algunos usos (Lara et al, 2007). Además teniendo en cuenta las condiciones topográficas del campus universitario y

luego de hacer un análisis de los posibles puntos de recolección de agua en una misma zona, se escogió la parte alta de la PUJB (Ilustración 5) tomando como sitio clave para la investigación la cancha de fútbol y sus alrededores, debido a la facilidad de captar la mayor parte de agua de escorrentía y así poder pensar en un sitio para la construcción de un tanque de recolección, el cual presente las condiciones óptimas en caso de su implementación.

Inicialmente se definieron diez puntos de muestreo estratégicos para la recolección de agua lluvia (Ilustración 4), de acuerdo a las condiciones descritas anteriormente, así como su ubicación y cercanía a posibles centros de acopio y recolección. Los puntos de muestreo se enumeraron en la Ilustración 7:



**Ilustración 7. Ubicación de los Puntos de muestreo**

**PUNTOS DE MUESTREO**

- 1: Sistema de Drenaje del Campo de fútbol (90)
- 2: Canal Nororiental del Campo de fútbol (90)
- 3: Canal Suroriental del Campo de fútbol (90)
- 4: Cubierta del Ed. de parqueaderos Don Guillermo Castro (115)
- 5: Caja recolección del sótano del Ed. de parqueaderos Don Guillermo Castro (115)
- 6: Cubierta Facultad de Ingeniería Ed. José Gabriel Maldonado S.J. (11)
- 7: Cubierta del Ed. Fernando Barón S.J. (02)
- 8: Cubierta del Ed. José de Carmen Acosta (27)
- 9: Cubierta del Edificio de Talleres de arquitectura (18)
- 10: Sumidero frente Facultad de Psicología Edificio Manuel Briceño Jáuregui S.J (95)

Como el campo de fútbol de la PUJB es la mayor área receptora de agua lluvia y se encuentra ubicada en el eje central de los puntos considerados, se determinaron tres puntos (Puntos 1, 2 y 3), por su importancia. Siguiendo en orden en el Edificio de parqueaderos Don Guillermo Castro, se tomaron dos puntos (Puntos 4 y 5) para evaluar las descargas directas de la cubierta y de su sistema de drenaje en los

sótanos; por otro lado, en los Edificios José Gabriel Maldonado S.J. (Punto 6), Fernando Barón S.J (Punto 7) y Talleres de Arquitectura (Punto 9), los cuales son estructuras en donde se encuentran algunas facultades académicas y salones de estudio; en estos puntos se tuvieron en cuenta las cubiertas como puntos de muestreo. El (Punto 8) ubicado en el Edificio José de Carmen Acosta se descartó para la toma de muestras, debido a la dificultad de recolección de agua y la falta de información en cuanto al sistema de desagüe de su cubierta. Por último, se tuvo en cuenta el sumidero principal que pertenece al sistema de drenaje de la vía de acceso al parqueadero (Punto 10), ubicado frente al Edificio de la Facultad de Psicología Manuel Briceño Jáuregui S.J.

### **3.2.2 Metodología para la toma de muestras**

Ante la presencia de diferentes eventos lluviosos se tomaron las muestras de agua lluvia de escorrentía de los puntos mencionados anteriormente. Para el muestreo se utilizaron recipientes plásticos de 5 litros que fueron desinfectados antes del muestreo, y en el momento previo de tomar las muestras se les realizó una purga (se tomaba una pequeña parte de muestra, se enjuaga el recipiente y se desechaba), luego de dicho procedimiento se efectuaba el respectivo muestreo.

En la Tabla 12 se describe la metodología empleada para cada punto de muestreo. Posteriormente las muestras de agua se llevaron a los laboratorios, principalmente al Laboratorio de Pruebas y Ensayos del Departamento de Ingeniería Civil de la PUJB, donde se les realizaron los respectivos ensayos.

**Tabla 12. Metodología de Toma de Muestras para cada punto**

Puntos de Muestreo				
Punto	Estructura	Foto Estructura	Detalle	Metodología de Muestreo
1	Ed. 90 Sistema Drenaje del Campo de Fútbol			La salida del sistema de drenaje principal está ubicada en la parte Nor-Occidental del campo de fútbol, está cubierta por una tapa de concreto que se retiró, para poder bajar al descote de la espina de pescado del sistema de drenaje de la cancha, purgar los envases y se procede a tomar el muestreo.
2	Ed. 90 Canal Nororiental Campo de Fútbol			Este punto se ubica en la parte Nor-Oriental del campo de fútbol. Es un canal superficial en donde captó la muestra, utilizando un recipiente auxiliar para poder llenar el emvase plástico de 5L, previamente purgado; debido a que no presenta una alta película de agua cuando se da un evento lluvioso.
3	Ed. 90 Canal Suroriental Campo de Fútbol			Este punto se ubica en la parte Sur-Oriental del campo de fútbol. Es un canal superficial en donde se captó la muestra, utilizando un recipiente auxiliar para poder llenar el emvase plástico de 5L, previamente purgado; debido a que no presenta una alta película de agua cuando se da un evento lluvioso.
4	Ed. 115 Cubierta de Don Guillermo Castro S.J. (Parqueadero)			Para el muestreo en la cubierta del edificio de parqueaderos se escogió el descole ubicado en la parte sur, en el cual sólo es necesario purgar los envases, colocar los recipientes y esperar a que se llenen.
5	Ed. 115 Caja Recolección del Sótano de Don Guillermo Castro S.J. (Parqueadero)			La caja de recolección del sótano se encuentra en el último sótano del edificio de parqueadero, allí se retiró la rejilla protectora y se sumergieron los recipientes de muestreo previamente purgados.
6	Ed. 11. Cubierta José Gabriel Maldonado S.J. (Ingeniería)			Para el muestreo en la cubierta de la Facultad de Ingeniería se escogió el descole ubicado en la parte occidental, en el cual sólo es necesario purgar los envases, colocar los recipientes y esperar a que se llenen.
7	Ed. 02 Cubierta Fernando Barón S.J.			En la cubierta del edificio Barón se escogió el descole ubicado en la parte occidental, en el cual sólo es necesario purgar los envases, colocar los recipientes y esperar a que se llenen.
9	Ed. 18 Cubierta Talleres de Arquitectura			En la cubierta de talleres de Arquitectura se ubican los recipientes, previamente purgados, en los descotes de la parte occidental y oriental del edificio, en los cuales sólo es necesario colocarlos y esperar a que se llenen.
10	Ed. 95 Sumidero frente Manuel Briceño Jáuregui S.J. (Psicología)			En el sumidero frente a la facultad de Psicología, se retira la rejilla protectora y se sumergen los recipientes de muestreo previamente purgados hasta que se llenen.

### 3.3 Experimentación en el Laboratorio

Para cada punto de muestreo planeó la realización de una serie de ensayos para determinar propiedades físicas y organolépticas, concentración en metales pesados, concentración en constituyentes orgánicos, concentración en constituyentes inorgánicos, compuestos volátiles y contaminación microbiológica, siguiendo los

procedimientos indicados en las normas técnicas correspondientes al Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (1998).

### **3.3.1 Ensayos para cada punto**

En el laboratorio de calidad de aguas PUJB se llevó a cabo una serie de ensayos, con el fin de estimar la calidad del agua lluvia de escorrentía que es característica, en cuanto a sus propiedades físicas y organolépticas, concentración en metales pesados, concentración en constituyentes orgánicos e inorgánicos. Con estos ensayos se planificaron dos baterías, una completa (Tabla 13) y una batería alterna (Tabla 14) con algunos ensayos dependiendo de la posible presencia de materia orgánica en algunos puntos.

**Tabla 13. Batería Completa de ensayos realizados en el Laboratorio de Pruebas y Ensayos del Departamento de Ingeniería Civil de la PUJB**

<p><b>ENSAYOS FISICOS Y ORGANOLÉPTICOS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Acidez total</li> <li>• Acidez mineral</li> <li>• Alcalinidad total</li> <li>• Alcalinidad a la fenolftaleína</li> <li>• Color Verdadero</li> <li>• Olor</li> <li>• Turbidez</li> <li>• Dureza Total</li> <li>• Dureza por Calcio o calcita</li> <li>• Dureza por magnesio</li> <li>• Sólidos Totales</li> <li>• Sólidos suspendidos totales</li> <li>• Sólidos Volátiles</li> <li>• Sólidos totales disueltos</li> <li>• Sólidos Sedimentables</li> <li>• Conductividad</li> <li>• Temperatura</li> </ul> <p><b>DETERMINACIÓN COMPONENTES ORGÁNICOS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)</li> <li>• Demanda Química de oxígeno (DQO)</li> </ul>	<p><b>DETERMINACIÓN DE METALES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Magnesio</li> <li>• Potasio</li> <li>• Plomo</li> <li>• Manganeso</li> <li>• Níquel</li> <li>• Cobre</li> <li>• Zinc</li> <li>• Hierro</li> <li>• Cadmio</li> <li>• Plata</li> <li>• Sodio</li> <li>• Mercurio</li> </ul> <p><b>DETERMINACIÓN CONSTITUYENTES INORGÁNICOS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nitrógeno amoniacal</li> <li>• Fosforo total</li> <li>• Sulfatos</li> <li>• Cloruros</li> <li>• pH</li> <li>• NTK</li> </ul>
---	--

La batería completa se realizó para los puntos 2, 3, 6, 7, 9 y 10, en dos campañas experimentales y la batería alterna se hizo a los puntos 1, 4 y 5, en dos campañas experimentales. Estos ensayos se realizaron por triplicado con el fin de determinar posibles incertidumbres experimentales; el resultado de ellos se presenta como el promedio más o menos una precisión, con una confianza del 95 %, utilizando las herramientas descritas en el numeral 3.5.2.1., para un total de 610 ensayos en los 9 puntos seleccionados. Cabe mencionar que fue un reto realizar dichos ensayos debido a la presencia de problemas logísticos, como periodos secos, inconvenientes a la hora de la toma de la muestra, entre otros.

**Tabla 14. Batería Alterna de ensayos realizados en el Laboratorio de Pruebas y Ensayos del Departamento de Ingeniería Civil de la PUJB**

<b>ENSAYOS FISICOS Y ORGANOLÉPTICOS</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Sólidos suspendidos totales</li></ul>
<b>DETERMINACIÓN DE METALES</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Magnesio</li><li>• Potasio</li><li>• Plomo</li><li>• Manganeso</li><li>• Níquel</li><li>• Cobre</li><li>• Zinc</li><li>• Hierro</li><li>• Cadmio</li><li>• Plata</li><li>• Sodio</li><li>• Mercurio</li></ul>
<b>DETERMINACIÓN CONSTITUYENTES INORGÁNICOS</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• pH</li><li>• NTK</li></ul>
<b>DETERMINACIÓN COMPONENTES ORGÁNICOS</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)</li></ul>

En el laboratorio de microbiología de la PUJB se llevaron a cabo los ensayos para determinar Coliformes Fecales y Escherichia Coli, los cuales se realizaron en el punto 10 (Sumidero frente al Ed. Manuel Briceño), en el cual existía el riesgo de alguna contaminación bacteriológica por la cercanía al canal de aguas residuales ubicado en la parte superior del sumidero. Por cuestiones metodológicas presupuestales y de tiempo sólo se realizó un ensayo microbiológico y sin triplicado.

En los laboratorios externos ANTEK S.A., se realizó la determinación de metales (Aluminio, Arsénico, Bario, Calcio, Cromo, Molibdeno), grasas y aceites, debido a la

peligrosidad y a la falta de equipos para la realización de dichas pruebas en el Laboratorio de Pruebas y Ensayos del Departamento de Ingeniería Civil de la PUJB. Estos ensayos se hicieron a las muestras de los puntos 1, 4, y 5, en su primera campaña y se llevaron a cabo por triplicado para hallar su respectiva incertidumbre. Por otro lado en ANALQUIM LTDA., se hizo el análisis de compuestos volátiles, para el punto 1, en una campaña.

Los muestreos se realizaron en las fechas descritas en la Tabla 15:

**Tabla 15. Fecha de toma de muestras para todos los puntos**

<b>PUNTO Nro.</b>	<b>ESTRUCTURA</b>	<b>CAMPAÑA # 1</b>		<b>CAMPAÑA # 2</b>
<b>1</b>	Ed. 90 Sistema Drenaje del Campo de Fútbol	Fecha:	FEB - 26 - 2010	NOV - 12 - 2009
		Hora:	11:12:00 a.m.	03:12:00 p.m.
<b>2</b>	Ed. 90 Canal Nororiental Campo de Fútbol	Fecha:	SEP - 27 - 2010	OCT - 04 - 2010
		Hora:	03:30:00 p.m.	12:30:00 p.m.
<b>3</b>	Ed. 90 Canal Suroriental Campo de Fútbol	Fecha:	JUN - 05 - 2009	SEP - 27 - 2010
		Hora:	03:30:00 p.m.	12:30:00 p.m.
<b>4</b>	Ed. 115 Cubierta de Don Guillermo Castro S.J. (Parqueadero)	Fecha:	MAR - 27 - 2009	ABR - 06 - 2010
		Hora:	01:29:00 p.m.	12:26:00 p.m.
<b>5</b>	Ed. 115 Caja Recolección del Sótano de Don Guillermo Castro S.J. (Parqueadero)	Fecha:	MAR - 27 - 2009	ABR - 06 - 2010
		Hora:	01:29:00 p.m.	12:26:00 p.m.
<b>6</b>	Ed. 11. Cubierta José Gabriel Maldonado S.J. (Ingeniería)	Fecha:	AGO - 25 - 2010	SEP - 27 - 2010
		Hora:	03:15:00 p.m.	02:15:00 p.m.
<b>7</b>	Ed. 02 Cubierta Fernando Barón S.J.	Fecha:	SEP - 15 - 2009	AGO - 25 - 2010
		Hora:	03:15:00 p.m.	02:15:00 p.m.
<b>9</b>	Ed. 18 Cubierta Talleres de Arquitectura	Fecha:	OCT - 20 - 2009	AGO - 25 - 2010
		Hora:	12:16:00 p.m.	03:25:00 p.m.
<b>10</b>	Ed. 95 Sumidero frente Manuel Briceño Jáuregui S.J (Psicología)	Fecha:	SEP - 15 - 2009	OCT - 04 - 2010
		Hora:	12:28:00 p.m.	12:30:00 p.m.

### **3.3.2 Normas para los ensayos realizados en los laboratorios**

Los ensayos que se realizaron en el Laboratorio de Pruebas y Ensayos del Departamento de Ingeniería Civil de la PUJB, de microbiología, ANTEK S.A y ANALQUIM LTDA, se llevaron a cabo siguiendo los procedimientos indicados en las normas técnicas de Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (1998) y la norma ISO 9308-1 (2002) para Escherichia Col. En la Tabla 16 se ve específicamente la norma para la realización de cada ensayo dependiendo del Standard Methods.

**Tabla 16. Norma guía para realizar los ensayos en todos los laboratorios**

PARÁMETRO	NORMA	PARÁMETRO	NORMA
<b>ENSAYOS FÍSICOS Y ORGANOLÉPTICOS</b>		<b>DETERMINACIÓN CONSTITUYENTES INORGÁNICOS</b>	
Acidez total	SM 2310 B	Cloro residual	SM 4500-Cl F
Acidez mineral	SM 2310 B	Nitrógeno amoniacal	SM 4500-NH <sub>3</sub> E
Alcalinidad total	SM 2320 B	Fosforo Total	SM 4500-P C
Alcalinidad a la fenolftaleína	SM 2320 B	Sulfatos	SM 4500-SO <sub>4</sub> E
Color Verdadero	SM 2120 B	Cloruros	SM 4500-CL B
Olor	SM 2150 B	pH	SM 4500-H+B
Turbidez	SM 2130 B	NTK	SM 4500-Norg B
Dureza Total	SM 2340 C	Oxígeno Disuelto	SM 4500-O C
Dureza por Calcio o calcita	SM 3500-Ca D	<b>DETERMINACIÓN COMPONENTES ORGÁNICOS</b>	
Dureza por magnesio	SM 2340 C	Demanda bioquímica de oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	SM 5210 B
Sólidos Totales	SM 2540 B	Demanda Química de oxígeno (DQO)	SM 5220 D
Sólidos suspendidos totales	SM 2540 D	<b>ENSAYOS DE MICROBIOLOGIA.</b>	
Sólidos Volátiles	SM 2540 E	Coliformes Fecales se realizó con los estándares Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (1998) y la norma ISO 9308-1 (2002) para Escherichia Col	
Sólidos totales disueltos	SM 2540 C	<b>ENSAYOS REALIZADOS EN ANALQUIM LTDA.</b>	
Sólidos Sedimentables	SM 2540 F	Aluminio	SM 3500-Al B
Conductividad	SM 2510 B	Arsénico	SM 3114 C
Temperatura	SM 2550 B	Bario	SM 3111 B
<b>DETERMINACIÓN DE METALES</b>		Calcio	SM 3500-Ca B
Plomo	SM 3500-Pb B	Cromo	SM 3111 B
Hierro	SM 3500-Fe B-D	Molibdeno	SM 3111 B
Cadmio	SM 3500-Cd B	Grasas y Aceites	SM 5520 D
Plata	SM 3500-Ag B	<b>ENSAYOS REALIZADOS EN ANTEK S.A</b>	
Cobre	SM 3500-Cu B	Los estándares con los cuales se realizaron estos ensayos están estipulados en los anexos	
Níquel	SM 3500-Ni B		
Manganeso	SM 3500-Mn B		
Sodio	SM 3500-Na B		
Potasio	SM 3500-K B		
Magnesio	SM 3500-Mg B		
Mercurio	SM 3500-Hg B		
Zinc	SM 3500-Zn B	<b>[SM] Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (1998)</b>	

### **3.4 Normas de Calidad del Agua para los diferentes Usos**

Con el fin de evaluar la adaptabilidad de las aguas de escorrentía muestreadas para su utilización en diferentes usos, se revisaron estándares de calidad y documentos relacionados a nivel nacional (Ministerio de Salud República de Colombia, 1984) e internacional (Gilbert *et al.*, 1982; Pescod, 1992; EU, 1998; Lazarova *et al.*, 2004; U.S. EPA 2004; MLIT, 2005; WHO 2006; EU, 2006). Dichos estándares y documentos proponen una calidad mínima del agua recolectada para diferentes usos teniendo en cuenta parámetros microbiológicos y fisicoquímicos (Torres et al, 2009). Las normas se encuentran en el Anexo A.

### **3.5 Herramientas para el análisis de resultados**

En el análisis de resultados se utilizaron varios programas realizados en MatLab, los cuales fueron diseñados para facilitar metodológicamente la realización de los cálculos y así poder hacer el respectivo análisis. Los programas fueron de gran ayuda en la realización del cálculo de las incertidumbres, la agrupación por clúster, comparación estadística Anova y la comparación por T-Test.

#### **3.5.1 Descripción de MatLab**

MatLab es un lenguaje de alto rendimiento de computación que integra la visualización y programación en un sólo programa. Las aplicaciones típicas del programa incluyen: matemáticas y computación, algoritmos de desarrollo, modelado, simulación, análisis de datos, exploración y visualización, ciencia y gráficos de ingeniería, etc.

El nombre proviene de “MATrix LABoratory” (Laboratorio de Matrices). Fue escrito originalmente para proporcionar un acceso sencillo al software matricial desarrollado por los proyectos LINPACK y EISPACK, que en conjunto representan lo más avanzado en programas de cálculo matricial. Es un sistema interactivo cuyo elemento básico de datos es una matriz que no requiere dimensionamiento. Esto permite resolver varios

problemas numéricos en poco comparándolo con otros lenguajes como C o BASIC. Es utilizado en investigación y para resolver problemas prácticos de ingeniería y matemáticas, con un gran énfasis en aplicaciones de control y procesamiento de señales (MatLab, 1996).

### **3.5.2 Programas Utilizados**

Los programas que se implementaron son cuatro: cálculos de las incertidumbres, agrupación por clúster, comparación estadística Anova y comparación por T-Test. Estos programas se utilizaron para los resultados obtenidos en todos los puntos de muestreo, teniendo en cuenta la batería de ensayos alterna, la cual es común para todos ellos.

#### **3.5.2.1 Cálculo de incertidumbres asociadas**

Con los datos en bruto dados por los laboratorios se calculan las incertidumbres se realizaron independientemente para cada prueba que se hizo en los laboratorios, principalmente en el Laboratorio de Pruebas y Ensayos del Departamento de Ingeniería Civil de la PUJB, teniendo en cuenta las precisiones de los aparatos y la incertidumbre asociada al muestreo. Este programa comprende cuatro módulos los cuales realizan pasos independientes y se corren todos en un bloque general. En el Anexo B se muestra el código de programación.

#### **3.5.2.2 Agrupación por medio de Clúster**

Teniendo el cálculo de los promedio, se tomaron los resultados de los ensayos de la batería alterna, a las dieciocho campañas adelantadas para los 9 puntos de medición, generando un archivo en formato (.txt), en el cual se presenta una matriz que compile los puntos muestreados (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9 y 10) con sus valores promedios. El análisis de clúster consistió en realizar una sencilla sistematización mediante un

programa (compar02), a partir de la introducción de la matriz de compilación en formato (.txt) y con ello se realizó un análisis mediante la herramienta “pdist”, función que calcula la distancia euclidiana entre pares de objetos en los datos de la matriz y se utiliza comúnmente como una matriz de disimilitud en la agrupación o escalamiento multidimensional. Este método genera como resultado un gráfico llamado dendrograma, en el cual se pueden reconocer los grupos semejantes o clúster, utilizando la herramienta “linkage”, función que crea un árbol de conglomerados jerárquicos de las distancias en  $y$ , y es una distancia euclidiana de la matriz o una matriz de disimilitud más general. En el Anexo C se muestra el código de programación para compar02.

### **3.5.2.3      *Análisis de Anova***

Luego de hacer el análisis de agrupación por clúster, se identifican algunos puntos de análisis como semejantes, los cuales fueron probados mediante un programa que realiza el análisis de varianza o Anova. Se realizó el programa “prog\_anova”, el cual compara varios ensayos para determinar la semejanza estadística de los ensayos obtenidos para los diferentes puntos de muestreo, realizando un análisis de varianza de más de dos distribuciones. De esta forma, el sistema solicita el ingreso de las matrices de los elementos a comparar (formato .txt) y automáticamente genera un resultado con una confiabilidad que debe ser mayor al 95 % para considerar los datos “como significativamente similares”, o como “significativamente diferentes”. En el Anexo D se muestra el código de programación para “prog\_anova”.

### **3.5.2.4      *Análisis de T-Test***

Con los resultados y el análisis de agrupación por clúster y Anova se busca comparar la similitud de los resultados obtenidos para los puntos de muestreo, pero comparando ensayo a ensayo por medio del T-Test. Esta herramienta compara uno a uno la similitud de los datos al calcular el error estándar en la diferencia entre dos medias, lo

cual se denomina como margen de error de la prueba t, y así se implementó el programa “prog\_ttest\_v2” donde se tomaron los resultados en bruto, producto del análisis por triplicado de los datos de cada ensayo escogido ( $\dot{X}_i$ ), la incertidumbre asociada  $\mu(x_i)$  y el número de datos finalmente aceptados por confiabilidad ( $\square_i$ ). Con lo anterior se introducen los datos en forma de una matriz en formato (.txt), los cuales son evaluados comparando una a una las parejas de ensayos generando un valor de ‘p-value’; el cual sí es menor a 0.05 los datos no son similares, mientras sí los puntos que logren estar con más del 95 % de confiabilidad automáticamente serían considerados iguales. En el Anexo E se muestra el código de programación para “prog\_ttest\_v2”.

## **4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

En este capítulo se presentarán los resultados de los nueve puntos seleccionados para dos eventos lluviosos diferentes. La toma de muestras se llevó a cabo siguiendo la metodología descrita en el capítulo anterior. Teniendo los datos en bruto arrojados por los laboratorios tras un respectivo análisis y caracterización de las muestras escogidas, se realizó el cálculo de resultados. Con estos valores se llevaron a cabo cinco análisis: (i) análisis de incertidumbres, (ii) comparación de resultados con las normas seleccionadas, (iii) agrupación por clúster con los resultados del primer paso, (iv) estudio de Anova y (v) análisis más detallado por medio de T-Test. Por último se realizó un análisis económico en cuanto a la viabilidad de reducción o ampliación de los puntos y campañas de muestreo.

### **4.1. Resultados de las pruebas de laboratorio en bruto**

Siguiendo la metodología del capítulo anterior, luego del muestreo se procede a hacer el estudio del agua lluvia de escorrentía, el cual se realizó por triplicado para cada ensayo; los resultados completos del análisis del laboratorio de pruebas y ensayos de calidad de aguas de la PUJB para los nueve puntos se muestran en Anexo F. Igualmente los resultados para el punto 1 (Dren principal del campo de fútbol) campaña # 1, realizados por el laboratorio ANTEK S.A. se presentan en Anexo G, así como los resultados para los puntos 1 (Dren principal del campo de fútbol) campaña # 1, punto 4 (Ed. Don Guillermo Castro descarga directa de la cubierta) campaña # 2 y punto 5 (Ed. Don Guillermo Castro, sumidero del sótano de parqueaderos) campaña # 2, realizados en el laboratorio ANALQUIM LTDA se presentan en Anexo H. Adicionalmente se presentan los resultados del laboratorio de microbiología PUJB realizados al punto 10 (Sumidero frente al Ed. Manuel Briceño) ver Tabla 17.

**Tabla 17. Resultados de ensayos microbiológicos**

PUNTO 10 SUMIDERO ED. FACULTAD DE PSICOLOGIA MANUEL BRICEÑO			
ENSAYOS REALIZADOS	UND	CAMPAÑA # 1	
		Fecha:	SEP - 15 - 2009
		Hora:	12:28:00 p.m.
<b>PSI 1</b>			
MICROBIOLÓGICOS			
Coliformes fecales	UFC/100ml	240	
Escherichia Coli	UFC/100ml	170	

En la Tabla 18 se muestra las fechas y horas en que se realizaron las campañas para los puntos de muestreo:

**Tabla 18. Fechas de campañas para los puntos de muestreo**

PUNTO Nro.	ESTRUCTURA	CAMPAÑA # 1		CAMPAÑA # 2
1	Ed. 90 Sistema Drenaje del Campo de Fútbol	Fecha:	FEB - 26 - 2010	NOV - 12 - 2010
		Hora:	11:12:00 a.m.	03:12:00 p.m.
2	Ed. 90 Canal Nororiental Campo de Fútbol	Fecha:	SEP - 27 - 2010	OCT - 04 - 2010
		Hora:	03:30:00 p.m.	12:30:00 p.m.
3	Ed. 90 Canal Suroriental Campo de Fútbol	Fecha:	JUN - 05 - 2009	SEP - 27 - 2010
		Hora:	03:30:00 p.m.	12:30:00 p.m.
4	Ed. 115 Cubierta de Don Guillermo Castro S.J. (Parqueadero)	Fecha:	MAR - 27 - 2009	ABR - 06 - 2010
		Hora:	01:29:00 p.m.	12:26:00 p.m.
5	Ed. 115 Caja Recolección del Sótano de Don Guillermo Castro S.J. (Parqueadero)	Fecha:	MAR - 27 - 2009	ABR - 06 - 2010
		Hora:	01:29:00 p.m.	12:26:00 p.m.
6	Ed. 11. Cubierta José Gabriel Maldonado S.J. (Ingeniería)	Fecha:	AGO - 25 - 2010	SEP - 27 - 2010
		Hora:	03:15:00 p.m.	02:15:00 p.m.
7	Ed. 02 Cubierta Fernando Barón S.J.	Fecha:	SEP - 15 - 2009	AGO - 25 - 2010
		Hora:	03:15:00 p.m.	02:15:00 p.m.
9	Ed. 18 Cubierta Talleres de Arquitectura	Fecha:	OCT - 20 - 2009	AGO - 25 - 2010
		Hora:	12:16:00 p.m.	03:25:00 p.m.
10	Ed. 95 Sumidero frente Manuel Briceño Jáuregui S.J (Psicología)	Fecha:	SEP - 15 - 2009	OCT - 04 - 2010
		Hora:	12:28:00 p.m.	12:30:00 p.m.

## **4.2. Análisis de Resultados**

Con la utilización de las diferentes herramientas descritas en el numeral 3.5, se realizaron los respectivos cálculos con los cuales se implementaron para hacer los cinco análisis respectivos. Por último hacer un análisis económico en cuanto a la posibilidad de reducción o ampliación de los puntos, y campañas de muestreo y en último lugar se discute la viabilidad del aprovechamiento del agua lluvia de escorrentía.

### **4.2.1 Incertidumbres**

Se compararon los resultados de los ensayos repetitivos de las dieciocho campañas de medición de calidad de aguas lluvias adelantadas en el campus de la PUJB. Los resultados fueron analizados con el programa descrito en el numeral 3.5.2.1, el cual realizó los cálculos de acuerdo a las precisiones de los equipos de laboratorio utilizados para cada ensayo, las cuales fueron confrontadas con los programas de dispersión de datos por incertidumbre generados en MatLab y sus resultados llevados al análisis por Montecarlo para determinar su promedio e incertidumbre más probable. El análisis de incertidumbres se realizó con el objetivo de conocer la magnitud de los errores en la medición, determinar la confiabilidad de los resultados y seleccionar cuáles datos podrían ser comparados entre sí, entrando a otro análisis con el de agrupación por clúster, Anova y T-Test. En las Tablas 19 a 27 se presentan los valores promedio y los valores de incertidumbre sobre dicho promedio con una confiabilidad del 95 %.

**Tabla 19. Resultados de incertidumbres de los ensayos de calidad de agua lluvia de escorrentía para el punto 1 (Dren Principal del campo de Fútbol) (NR: no realizado, Nd: no detectado, NC: no calculada)**

PUNTO 1 DREN PRINCIPAL DEL CAMPO DE FUTBOL					
PARÁMETRO	Unidad	CAMPAÑA # 1		CAMPAÑA # 2	
		Fecha:	FEB - 26 - 2010	Fecha:	NOV - 12 - 2009
		Hora:	11:12:00 a.m.	Hora:	03:12:00 p.m.
		Resultado Promedio	Incertidumbre (% sobre el promedio)	Resultado Promedio	Incertidumbre (% sobre el promedio)
<b>FISICOS Y ORGANOLÉPTICOS</b>					
Sólidos suspendidos totales	mg/L	675,0	61,8%	21,3	20,7%
<b>DETERMINACIÓN DE METALES</b>					
Plomo	mg/L	0,0781	57,3%	ND	208,8%
Hierro	mg/L	0,1382	13,1%	0,2709	1,2%
Cadmio	mg/L	0,0194	47,8%	ND	208,4%
Plata	mg/L	0,0477	9,2%	0,1357	2,5%
Cobre	mg/L	ND	210,5%	0,0512	15,4%
Níquel	mg/L	0,0229	30,8%	1,2810	31,3%
Manganeso	mg/L	0,0113	0,7%	0,0357	27,1%
Sodio	mg/L	4,9197	0,2%	0,4194	4,4%
Potasio	mg/L	5,4080	0,6%	0,8048	6,3%
Magnesio	mg/L	2,7012	0,3%	0,6654	3,1%
Mercurio	mg/L	0,2039	0,6%	0,0000	210,7%
Zinc	mg/L	ND	206,1%	0,7155	3,4%
<b>CONSTITUYENTES INORGÁNICOS</b>					
Ph	un	8,83	0,1%	7,21	0,1%
NTK (mg/l)	mg/L	ND	37102,4%	ND	37425,3%
<b>COMPONENTES ORGÁNICOS</b>					
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	mg/L	41,7	18,3%	NR	13310%

**Tabla 20. Resultados de incertidumbres de los ensayos de calidad de agua lluvia de escoorrentía para el punto 2 (Canal Nor-Oriental del campo de Fútbol) (NR: no realizado, ND: no detectado, NC: no calculada)**

PUNTO 2 CANAL NOR-ORIENTAL DEL CAMPO DE FUTBOL					
ENSAYOS REALIZADOS	UND	CAMPAÑA # 1		CAMPAÑA # 2	
		Fecha:	SEP - 27 - 2010	Fecha:	OCT - 04 - 2010
		Hora:	03:30:00 p.m.	Hora:	12:30:00 p.m.
		Resultado Promedio	Incertidumbre (% sobre el)	Resultado Promedio	Incertidumbre (% sobre el)
<b>FISICOS Y ORGANOLÉPTICOS</b>					
Acidez total	mg/L CaCo3	116,7	2,7%	131,0	1,1%
Acidez mineral	mg/L CaCo3	NR	NC	NR	NC
Alcalinidad total	mg/L CaCo3	52,0	4,1%	29,3	4,7%
Alcalinidad a la fenoltaleina	mg/L CaCo3	0,0	0,0%	0,0	0,0%
Color Verdadero	UPC	188,0	1,1%	97,7	2,6%
Olor	-	ND	ND	ND	ND
Turbidez	UNT	29,7	2,2%	42,4	0,2%
Dureza Total	mg/L CaCo3	56,0	5,0%	53,3	5,9%
Dureza por Calcio o calcita	mg/L CaCo3	346,0	0,8%	373,3	3,3%
Dureza por magnesio	mg/L CaCo3	ND	ND	ND	ND
Sólidos Totales	mg/L	396,0	0,7%	871,3	4,7%
Sólidos suspendidos totales	mg/L	181,7	2,8%	870,0	0,9%
Sólidos Volátiles	mg/L	194,0	2,8%	601,0	0,7%
Sólidos totales disueltos	mg/L	208,0	4,9%	48,7	0,8%
Sólidos Sedimentables	mg/L	1,0	7,6%	2,97	17,0%
Conductividad	µS/cm	135,5	0,3%	54,20	0,5%
Temperatura	°C	11,0	0,0%	16,0	0,0%
<b>DETERMINACIÓN DE METALES</b>					
Plomo	mg/L	ND	208,8%	0,0197	26,0%
Hierro	mg/L	0,0420	388,1%	0,4510	2,8%
Cadmio	mg/L	ND	210,1%	ND	207,7%
Plata	mg/L	ND	211,6%	0,0243	46,6%
Cobre	mg/L	0,0638	6,1%	0,0624	19,3%
Níquel	mg/L	0,6573	33,9%	1,6852	8,1%
Manganeso	mg/L	0,0446	3,1%	0,0422	0,3%
Sodio	mg/L	4,0221	0,0%	1,4452	17,2%
Potasio	mg/L	7,5716	0,0%	3,6097	2,1%
Magnesio	mg/L	1,4437	2,4%	0,6358	0,9%
Mercurio	mg/L	ND	210,7%	ND	209,4%
Zinc	mg/L	0,0695	21,7%	0,5416	19,0%
<b>CONSTITUYENTES INORGÁNICOS</b>					
Cloro residual	mg/L	NR	0,0%	NR	0,0%
Nitrogeno amoniacal	mg/L	6,72	18,8%	4,48	19,1%
Fosforo total	mg/L P	0,64	2,8%	36,67	9,1%
Sulfatos	mg/L SO4	12,00	0,0%	3,67	46,1%
Cloruros	mg/L Cl	18,33	4,4%	18,33	4,5%
pH	UND	7,13	0,1%	7,24	0,2%
NTK	mg/L N	ND	0,0%	0,00	38104,0%
<b>COMPONENTES ORGÁNICOS</b>					
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	mg/L	38,0	0,0%	28,7	10,7%
Demanda Química de oxígeno (DQO)	mg/L	100,0	3,3%	181,1	9,4%

**Tabla 21. Resultados de incertidumbres de los ensayos de calidad de agua lluvia de escorrentía para el punto 3 (Canal Sur-Oriental del campo de Fútbol) (NR: no realizado, ND: no detectado, NC: no calculada)**

PUNTO 3 CANAL SUR-ORIENTAL DEL CAMPO DE FUTBOL					
ENSAYOS REALIZADOS	UND	CAMPAÑA # 1		CAMPAÑA # 2	
		Fecha:	JUN - 05 - 2009	Fecha:	SEP - 27 - 2010
		Hora:	03:30:00 p.m.	Hora:	12:30:00 p.m.
		Resultado	Incertidumbre	Resultado	Incertidumbre
<b>FISICOS Y ORGANOLÉPTICOS</b>					
Acidez total	mg/L CaCo3	104,7	3,0%	89,3	1,6%
Acidez mineral	mg/L CaCo3	NR	NC	NR	NC
Alcalinidad total	mg/L CaCo3	82,0	2,6%	49,3	2,8%
Alcalinidad a la fenolftaleína	mg/L CaCo3	NR	NC	NR	NC
Color Verdadero	UPC	75,0	0,0%	191,3	2,2%
Olor	-	ND	ND	ND	ND
Turbidez	UNT	72,4	5,2%	35,4	2,4%
Dureza Total	UNT	122,7	2,6%	53,3	5,9%
Dureza por Calcio o calcita	UNT	113,3	2,8%	419,0	0,4%
Dureza por magnesio	UNT	ND	NC	ND	NC
Sólidos Totales	mg/L	472,5	4,3%	610,0	0,3%
Sólidos suspendidos totales	mg/L	163,3	5,8%	358,3	3,6%
Sólidos Volátiles	mg/L	200,8	17,2%	308,0	0,8%
Sólidos totales disueltos	mg/L	301,4	4,7%	235,7	4,9%
Sólidos Sedimentables	mg/L	2,83	79,6%	2,60	64,7%
Conductividad	µS/cm	294,00	0,5%	123,90	0,2%
Temperatura	°C	13,5	0,0%	10,0	0,0%
<b>DETERMINACION DE METALES</b>					
Plomo	mg/L	0,0103	35,1%	ND	208,3%
Hierro	mg/L	0,6776	3,4%	0,2731	5,7%
Cadmio	mg/L	0,0784	48,3%	ND	209,5%
Plata	mg/L	0,0084	17,0%	ND	208,6%
Cobre	mg/L	0,0096	72,9%	0,0666	11,4%
Níquel	mg/L	0,0101	84,7%	0,6631	81,3%
Manganeso	mg/L	ND	210,1%	0,3878	134,5%
Sodio	mg/L	4,5017	0,2%	4,0221	0,0%
Potasio	mg/L	4,8339	0,1%	7,5716	0,0%
Magnesio	mg/L	1,7304	0,8%	1,2662	2,5%
Mercurio	mg/L	-0,4047	-77,6%	ND	208,8%
Zinc	mg/L	0,1887	3,5%	0,1034	20,1%
<b>CONSTITUYENTES INORGÁNICOS</b>					
Cloro residual	mg/L	NR	NC	NR	NC
Nitrogeno amoniacal	mg/L	4,48	19,5%	5,60	15,7%
Fosforo total	mg/L P	0,83	0,1%	0,73	8,0%
Sulfatos	mg/L SO4	12,00	0,0%	12,00	0,0%
Cloruros	mg/L Cl	20,66	7,7%	15,66	8,1%
pH	UND	8,46	0,4%	7,09	0,1%
NTK	mg/L N	1,12	78,0%	ND	37104,0%
<b>COMPONENTES ORGÁNICOS</b>					
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	mg/L	42,7	11,8%	44,7	9,3%
Demanda Química de oxígeno (DQO)	mg/L	124,4	38,8%	215,6	3,9%

**Tabla 22. Resultados de incertidumbres de los ensayos de calidad de agua lluvia de escorrentía para el punto 4 (Descarga directa de la Cubierta del Ed. de Parqueadero) (NR: no realizado, ND: no detectado, NC: no calculada)**

PUNTO 4 DESCARGA DIRECTA DE LA CUBIERTA ED. PARQUEADERO					
ENSAYOS REALIZADOS	UND	CAMPAÑA # 1		CAMPAÑA # 2	
		Fecha:	MAR - 27 - 2009	Fecha:	ABR - 06 - 2010
		Hora:	01:29:00 p.m.	Hora:	12:26:00 p.m.
		Resultado Promedio	Incertidumbre (% sobre el promedio)	Resultado Promedio	Incertidumbre (% sobre el promedio)
<b>FISICOS Y ORGANOLÉPTICOS</b>					
Sólidos suspendidos totales	mg/L	5,0	127,6%	18,3	28,2%
<b>DETERMINACIÓN DE METALES</b>					
Plomo	mg/L	0,1699	84,8%	ND	210,7%
Hierro	mg/L	0,3105	1,4%	0,1687	5,6%
Cadmio	mg/L	0,0120	12,5%	0,0086	79,0%
Plata	mg/L	-0,0282	-10,8%	0,0113	92,5%
Cobre	mg/L	0,0153	79,9%	0,0132	19,9%
Níquel	mg/L	-0,1348	-3,3%	ND	210,3%
Manganeso	mg/L	0,0134	7,4%	0,0104	0,7%
Sodio	mg/L	0,7138	1,8%	0,8538	5,4%
Potasio	mg/L	0,9256	2,1%	1,3838	6,7%
Magnesio	mg/L	0,2147	1,0%	0,1741	1,3%
Mercurio	mg/L	0,1268	20,3%	ND	210,3%
Zinc	mg/L	0,7904	3,3%	0,1450	3,4%
<b>CONSTITUYENTES INORGÁNICOS</b>					
pH	mg/L	6,24	1,8%	8,99	0,1%
NTK (mg/l)	mg/L N	2,05	36,8%	ND	32114,0%
<b>COMPONENTES ORGÁNICOS</b>					
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	UND	12,0	0,03%	12,0	0,03%

**Tabla 23. Resultados de incertidumbres de los ensayos de calidad de agua lluvia de escorrentía para el punto 5 (Caja recolectora Sótano del Ed. de Parquadero) (NR: no realizado, ND: no detectado, NC: no calculada)**

PUNTO 5 CAJA RECOLECTORA SOTANO DEL ED. PARQUEADERO					
ENSAYOS REALIZADOS	UND	CAMPAÑA # 1		CAMPAÑA # 2	
		Fecha:	MAR - 27 - 2009	Fecha:	ABR - 06 - 2010
		Hora:	01:29:00 p.m.	Hora:	12:26:00 p.m.
		Resultado Promedio	Incertidumbre (% sobre el promedio)	Resultado Promedio	Incertidumbre (% sobre el promedio)
<b>FISICOS Y ORGANOLÉPTICOS</b>					
Sólidos suspendidos totales	mg/L	40,0	18,1%	47,5	10,5%
<b>DETERMINACIÓN DE METALES</b>					
Plomo	mg/L	0,1673	7,3%	ND	210,3%
Hierro	mg/L	0,4585	2,4%	0,4047	2,1%
Cadmio	mg/L	0,0193	16,0%	ND	210,3%
Plata	mg/L	-0,0409	-13,3%	0,0261	47,2%
Cobre	mg/L	0,0485	45,3%	0,0145	17,4%
Níquel	mg/L	-0,1291	-1,5%	ND	210,3%
Manganeso	mg/L	0,0110	46,3%	0,0273	0,3%
Sodio	mg/L	1,3157	3,9%	4,2602	0,0%
Potasio	mg/L	0,9414	6,2%	4,7439	0,0%
Magnesio	mg/L	0,3566	2,1%	0,6625	3,0%
Mercurio	mg/L	0,1507	42,5%	ND	210,3%
Zinc	mg/L	0,4219	0,5%	0,1703	10,6%
<b>CONSTITUYENTES INORGÁNICOS</b>					
pH	mg/L	6,00	0,2%	9,18	0,2%
NTK (mg/l)	mg/L N	2,05	52,1%	ND	30173,0%
<b>COMPONENTES ORGÁNICOS</b>					
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	UND	72,0	2,8%	10,0	0,0%

**Tabla 24. Resultados de incertidumbres de los ensayos de calidad de agua lluvia de escorrentía para el punto 6 (Cubierta del Ed. Facultad de Ingeniería) (NR: no realizado, ND: no detectado, NC: no calculada)**

PUNTO 6 CUBIERTA FACULTAD DE INGENIERIA					
ENSAYOS REALIZADOS	UND	CAMPANA # 1		CAMPANA # 2	
		Fecha:	AGO - 25 - 2010	Fecha:	SEP - 27 - 2010
		Hora:	03:15:00 p.m.	Hora:	02:15:00 p.m.
		Resultado	Incertidumbre	Resultado	Incertidumbre
<b>FISICOS Y ORGANOLEPTICOS</b>					
Acidez total	mg/L CaCo3	68,7	2,0%	61,3	5,1%
Acidez mineral	mg/L CaCo3	NR	NC	NR	NC
Alcalinidad total	mg/L CaCo3	13,3	10,4%	50,7	2,7%
Alcalinidad a la fenolftaleina	mg/L CaCo3	NR	NC	NR	NC
Color Verdadero	UPC	32,3	6,4%	27,7	9,1%
Olor	-	ND	NC	ND	NC
Turbidez	UNT	3,5	0,1%	2,5	6,0%
Dureza Total	UNT	54,7	2,6%	30,0	2,9%
Dureza por Calcio o calcita	UNT	56,0	3,8%	131,0	1,1%
Dureza por magnesio	UNT	ND	NC	ND	NC
Sólidos Totales	mg/L	145,0	1,3%	89,3	2,3%
Sólidos suspendidos totales	mg/L	38,7	5,4%	35,0	5,7%
Sólidos Volátiles	mg/L	32,7	14,8%	29,0	6,9%
Sólidos totales disueltos	mg/L	100,0	12,5%	64,7	18,9%
Sólidos Sedimentables	mg/L	0,10	53,5%	0,13	48,1%
Conductividad	µS/cm	73,67	0,3%	48,40	0,6%
Temperatura	°C	10,0	0,0%	10,0	11,4%
<b>DETERMINACIÓN DE METALES</b>					
Plomo	mg/L	ND	208,1%	ND	208,7%
Hierro	mg/L	0,0401	11,7%	0,1682	5,5%
Cadmio	mg/L	ND	211,1%	ND	210,2%
Plata	mg/L	ND	209,6%	0,0126	36,6%
Cobre	mg/L	0,0548	4,6%	0,0348	24,1%
Níquel	mg/L	0,2628	135,1%	0,9883	29,8%
Manganeso	mg/L	0,0202	23,6%	0,0179	21,9%
Sodio	mg/L	1,4231	0,8%	0,3687	23,2%
Potasio	mg/L	2,9813	3,1%	0,7174	0,8%
Magnesio	mg/L	1,0996	1,3%	0,3365	1,1%
Mercurio	mg/L	ND	207,9%	ND	208,4%
Zinc	mg/L	0,1544	10,8%	0,5496	1,0%
<b>CONSTITUYENTES INORGANICOS</b>					
Cloro residual	mg/L	NR	NC	NR	NC
Nitrogeno amoniacal	mg/L	5,42	19,8%	5,60	15,6%
Sulfatos	mg/L SO4	NR	NC	2,47	40,8%
Cloruros	mg/L Cl	NR	NC	10,00	11,4%
pH	UND	6,96	0,2%	6,98	0,1%
NTK	mg/L N	0,02	3740,2%	0,00	37341,7%
<b>COMPONENTES ORGÁNICOS</b>					
Demanda bioquímica de oxígeno (DB05)	mg/L	12,0	0,0%	NR	13235,9%
Demanda Química de oxígeno (DQ0)	mg/L	10,0	33,3%	NR	3467,0%

**Tabla 25. Resultados de incertidumbres de los ensayos de calidad de agua lluvia de escorrentía para el punto 7 (Cubierta del Ed. Fernando Barón) (NR: no realizado, ND: no detectado, NC: no calculada)**

PUNTO 7 CUBIERTA ED. FERNANDO BARON					
ENSAYOS REALIZADOS	UND	CAMPAÑA # 1		CAMPAÑA # 2	
		Fecha:	SEP - 15 - 2009	Fecha:	AGO - 25 - 2010
		Hora:	03:15:00 p.m.	Hora:	02:15:00 p.m.
		Resultado	Incertidumbre	Resultado	Incertidumbre
<b>FISICOS Y ORGANOLÉPTICOS</b>					
Acidez total	mg/L CaCo3	28,0	7,6%	56,0	3,8%
Acidez mineral	mg/L CaCo3	NR	NC	NR	NC
Alcalinidad total	mg/L CaCo3	11,3	12,3%	30,7	4,6%
Alcalinidad a la fenolftaleína	mg/L CaCo3	NR	NC	NR	NC
Color Verdadero	UPC	20,0	0,0%	35,0	0,0%
Olor	-	ND	NC	ND	NC
Turbidez	UNT	4,2	2,5%	3,0	3,3%
Dureza Total	UNT	40,0	5,3%	42,0	5,1%
Dureza por Calcio o calcita	UNT	30,0	7,1%	84,0	2,5%
Dureza por magnesio	UNT	8,0	5,0%	ND	NC
Sólidos Totales	mg/L	50,0	6,5%	101,3	4,8%
Sólidos suspendidos totales	mg/L	40,0	6,4%	35,6	9,6%
Sólidos Volátiles	mg/L	200,8	17,2%	72,0	5,3%
Sólidos totales disueltos	mg/L	10,0	24,6%	65,7	38,9%
Sólidos Sedimentables	mg/L	1,00	3,3%	0,10	33,6%
Conductividad	µS/cm	15,87	2,8%	45,90	0,6%
Temperatura	°C	17,6	0,9%	14,0	0,0%
<b>DETERMINACIÓN DE METALES</b>					
Plomo	mg/L	-0,9881	0,0%	0,0221	84,9%
Hierro	mg/L	0,1320	3,1%	3,4231	8,0%
Cadmio	mg/L	0,0412	35,8%	0,0080	0,9%
Plata	mg/L	-0,0034	-41,8%	0,0298	24,8%
Cobre	mg/L	0,0074	70,5%	0,0425	9,1%
Níquel	mg/L	-0,0138	-0,5%	0,0171	12,5%
Manganeso	mg/L	ND	209,6%	0,0062	20,2%
Sodio	mg/L	0,1567	1,5%	4,0221	0,0%
Potasio	mg/L	0,3411	0,0%	2,5584	1,0%
Magnesio	mg/L	0,2029	2,9%	0,3203	1,0%
Mercurio	mg/L	-0,2370	-5,2%	ND	210,6%
Zinc	mg/L	0,1711	12,9%	0,1139	30,1%
<b>CONSTITUYENTES INORGÁNICOS</b>					
Cloro residual	mg/L	NR	NC	NR	NC
Nitrogeno amoniacal	mg/L	2,99	25,5%	2,99	25,5%
Cloruros	mg/L Cl	10,90	10,5%	12,66	6,5%
pH	UND	6,72	0,2%	7,46	0,1%
NTK	mg/L N	0,37	231,6%	ND	2051,1%
<b>COMPONENTES ORGÁNICOS</b>					
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	mg/L	10,0	0,0%	14,0	0,0%
Demanda Química de oxígeno (DQO)	mg/L	20,0	16,7%	30,0	11,1%

**Tabla 26. Resultados de incertidumbres de los ensayos de calidad de agua lluvia de escorrentía para el punto 9 (Cubierta del Ed. Taller de Arquitectura) (NR: no realizado, ND: no detectado, NC: no calculada)**

PUNTO 9 CUBIERTA ED. TALLERES DE ARQUITECTURA					
ENSAYOS REALIZADOS	UND	CAMPAÑA # 1		CAMPAÑA # 2	
		Fecha:	OCT - 20 - 2009	Fecha:	AGO - 25 - 2010
		Hora:	12:16:00 p.m.	Hora:	03:25:00 p.m.
		Resultado	Incertidumbre	Resultado	Incertidumbre
<b>FISICOS Y ORGANOLÉPTICOS</b>					
Acidez total	mg/L CaCo3	37,3	8,4%	60,7	5,2%
Acidez mineral	mg/L CaCo3	NR	NC	NR	NC
Alcalinidad total	mg/L CaCo3	8,7	16,0%	23,3	6,0%
Alcalinidad a la fenoltaleina	mg/L CaCo3	NR	NC	NR	NC
Color Verdadero	UPC	24,0	0,0%	40,0	0,0%
Olor	-	ND	NC	ND	NC
Turbidez	UNT	4,1	1,8%	4,4	2,3%
Dureza Total	UNT	40,0	2,2%	31,3	4,5%
Dureza por Calcio o calcita	UNT	28,0	10,1%	62,0	4,6%
Dureza por magnesio	UNT	9,3	54,1%	ND	NC
Sólidos Totales	mg/L	50,0	4,0%	109,3	4,0%
Sólidos suspendidos totales	mg/L	66,7	52,2%	60,0	7,1%
Sólidos Volátiles	mg/L	29,3	17,2%	53,3	6,4%
Sólidos totales disueltos	mg/L	16,7	211,4%	49,3	3,9%
Sólidos Sedimentables	mg/L	0,0	0,1%	0,6	12,9%
Conductividad	µS/cm	17,25	7,8%	92,10	0,0%
Temperatura	°C	13,3	1,6%	13,0	0,0%
<b>DETERMINACIÓN DE METALES</b>					
Plomo	mg/L	-0,0435	-30,5%	0,0511	8,5%
Hierro	mg/L	0,0531	30,9%	3,5217	6,0%
Cadmio	mg/L	0,0020	242,7%	0,0047	13,1%
Plata	mg/L	0,0059	16,6%	0,0022	184,9%
Cobre	mg/L	0,0088	65,9%	0,0360	8,6%
Níquel	mg/L	-0,0407	-63,4%	0,0121	73,7%
Manganeso	mg/L	ND	210,3%	0,0331	36,3%
Sodio	mg/L	0,0190	8,6%	0,9163	1,2%
Potasio	mg/L	0,7650	2,5%	1,7785	2,9%
Magnesio	mg/L	0,1348	6,0%	0,2397	5,1%
Mercurio	mg/L	-0,3088	-98,7%	ND	210,7%
Zinc	mg/L	0,1386	7,3%	0,1034	10,9%
<b>CONSTITUYENTES INORGÁNICOS</b>					
Cloro residual	mg/L	NR	NC	NR	NC
Nitrogeno amoniacal	mg/L	ND	368450,2%	2,99	25,5%
Cloruros	mg/L Cl	11,33	7,3%	23,03	2,7%
pH	UND	5,22	5,3%	7,80	0,2%
NTK	mg/L N	2,80	30,8%	2,80	31,0%
<b>COMPONENTES ORGÁNICOS</b>					
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	mg/L	15,0	0,0%	20,0	0,0%
Demanda Química de oxígeno (DQO)	mg/L	NR	3467,0%	NR	234,0%

**Tabla 27. Resultados de incertidumbres de los ensayos de calidad de agua lluvia de escoorrentía para el punto 10 (Sumidero del Ed. Facultad de Psicología) (NR: no realizado, ND: no detectado, NC: no calculada)**

PUNTO 10 SUMIDERO ED. FACULTAD DE PSICOLOGIA MANUEL BRICEÑO					
ENSAYOS REALIZADOS	UND	CAMPAÑA # 1		CAMPAÑA # 2	
		Fecha:	SEP - 15 - 2009	Fecha:	OCT - 04 - 2010
		Hora:	12:28:00 p.m.	Hora:	12:30:00 p.m.
		Resultado	Incertidumbre	Resultado	Incertidumbre
<b>FISICOS Y ORGANOLÉPTICOS</b>					
Acidez total	mg/L CaCo3	41,3	3,4%	54,7	2,6%
Acidez mineral	mg/L CaCo3	NR	NC	NR	NC
Alcalinidad total	mg/L CaCo3	32,0	6,7%	16,7	8,3%
Alcalinidad a la fenoltaleina	mg/L CaCo3	NR	NC	NR	NC
Color Verdadero	UPC	70,0	0,0%	46,7	3,3%
Olor	-	ND	NC	ND	NC
Turbidez	UNT	32,6	0,2%	5,7	1,8%
Dureza Total	UNT	98,0	2,2%	30,7	4,5%
Dureza por Calcio o calcita	UNT	82,0	2,6%	159,3	2,0%
Dureza por magnesio	UNT	17,3	6,9%	ND	NC
Sólidos Totales	mg/L	275,0	1,4%	155,0	1,3%
Sólidos suspendidos totales	mg/L	220,0	1,3%	115,0	6,2%
Sólidos Volátiles	mg/L	110,0	1,3%	91,0	2,2%
Sólidos totales disueltos	mg/L	103,7	0,1%	0,0	0,1%
Sólidos Sedimentables	mg/L	5,00	20,0%	0,40	25,9%
Conductividad	µS/cm	75,13	0,6%	34,57	0,6%
Temperatura	°C	16,9	0,6%	16,0	0,0%
<b>DETERMINACIÓN DE METALES</b>					
Plomo	mg/L	-0,4577	-84,0%	ND	207,9%
Hierro	mg/L	0,4839	1,5%	0,1338	4,1%
Cadmio	mg/L	0,0328	11,7%	ND	210,2%
Plata	mg/L	-0,0004	-467,1%	0,0072	74,6%
Cobre	mg/L	0,0410	8,3%	0,0290	21,7%
Níquel	mg/L	0,0113	70,7%	1,6637	15,0%
Manganeso	mg/L	ND	210,1%	0,0292	12,5%
Sodio	mg/L	2,7264	1,1%	0,3769	38,1%
Potasio	mg/L	3,4403	0,5%	0,6393	7,0%
Magnesio	mg/L	0,9273	1,1%	0,2460	1,3%
Mercurio	mg/L	-0,2012	-22,5%	ND	208,3%
Zinc	mg/L	0,9578	3,0%	0,4008	1,0%
<b>CONSTITUYENTES INORGÁNICOS</b>					
Cloro residual	mg/L	NR	NC	NR	NC
Nitrogeno amoniacal	mg/L	5,04	16,8%	4,48	19,2%
Fosforo total	mg/L P	-0,03	-62,6%	0,44	4,1%
Sulfatos	mg/L SO4	NR	NC	2,73	17,3%
Cloruros	mg/L Cl	18,99	6,0%	ND	18812,0%
pH	UND	7,85	0,1%	7,10	0,1%
NTK	mg/L N	1,49	50,9%	ND	38178,9%
Oxígeno disuelto	mg/L-O2	6,27	7,7%	NR	NC
<b>COMPONENTES ORGÁNICOS</b>					
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	mg/L	30,0	0,0%	ND	13281,7%
Demanda Química de oxígeno (DQO)	mg/L	50,0	6,7%	ND	3546,1%

#### **4.2.2 Comparación gráfica con las normas EPA, CE y Colombiana**

Para hacer el análisis comparativo con las normas de calidad del agua respecto de su uso, se escogieron las normas Environmental Protection Agency (EPA), Directiva 98/83/CE del Consejo Europeo (CE) y a nivel local se tiene el Decreto 1594 que es el que regula los usos del recurso en Colombia. Los índices de calidad encontrados en las diferentes normas están representados en un rango determinado, del cual se tomó el punto máximo permitido para cada ensayo. Para algunos usos no se encontraron estándares para algunos parámetros específicos, con lo cual se hizo la comparación con las normas existentes y se realizó un análisis acorde al uso más aproximado o similar al que se va a evaluar.

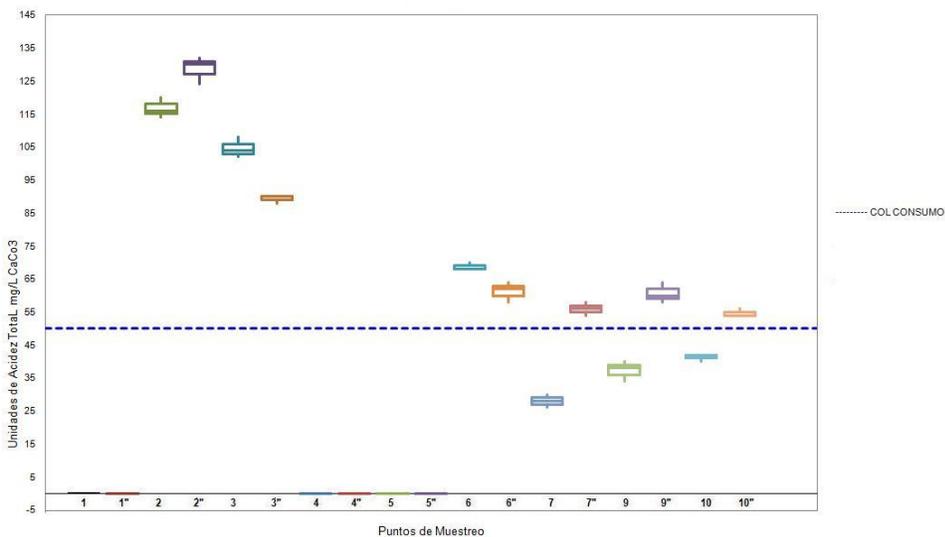
Los resultados se ven plasmados en los gráficos de diagrama de caja (Gráficos 1 a 41), donde se representan las dieciocho campañas y se trazan unas líneas horizontales que es la representación del máximo valor permitido para cada parámetro de cada norma. En el eje x de los gráficos están los puntos de muestreo con sus dos campañas de mediciones, las cuales tienen una nomenclatura abreviada (Tabla 28) para facilitar la interpretación gráfica y de los resultados.

**Tabla 28. Abreviatura de los puntos de muestreo para los gráficos**

<b>Punto</b>	<b>Estructura</b>	<b>Campaña</b>	<b>Abreviatura</b>
<b>1</b>	Ed. 90 Sistema Drenaje del Campo de Fútbol	1	<b>1</b>
		2	<b>1"</b>
<b>2</b>	Ed. 90 Canal Nororiental Campo de Fútbol	1	<b>2</b>
		2	<b>2"</b>
<b>3</b>	Ed. 90 Canal Suroriental Campo de Fútbol	1	<b>3</b>
		2	<b>3"</b>
<b>4</b>	Ed. 115 Cubierta de Don Guillermo Castro S.J. (Parqueadero)	1	<b>4</b>
		2	<b>4"</b>
<b>5</b>	Ed. 115 Caja Recolección del Sótano de Don Guillermo Castro S.J. (Parqueadero)	1	<b>5</b>
		2	<b>5"</b>
<b>6</b>	Ed. 11. Cubierta José Gabriel Maldonado S.J. (Ingeniería)	1	<b>6</b>
		2	<b>6"</b>
<b>7</b>	Ed. 02 Cubierta Fernando Barón S.J.	1	<b>7</b>
		2	<b>7"</b>
<b>9</b>	Ed. 18 Cubierta Talleres de Arquitectura	1	<b>9</b>
		2	<b>9"</b>
<b>10</b>	Ed. 95 Sumidero frente Manuel Briceño Jáuregui S.J (Psicología)	1	<b>10</b>
		2	<b>10"</b>

En los parámetros físicos y organolépticos no se compararon gráficamente los ensayos de acidez mineral y alcalinidad a la fenolftaleína, ya que al realizarlos su valor fue cero, parámetros que no influyen directamente en la determinación del agua para algún uso en especial. Igualmente para el parámetro de olor no se realizó un gráfico de caja puesto que sus resultados no son cuantitativos sino cualitativos, con lo cual la restricción para los usos del campus PUJB se da cuando el agua tenga un olor desagradable, situación que no se presentó en ninguna de las muestras.

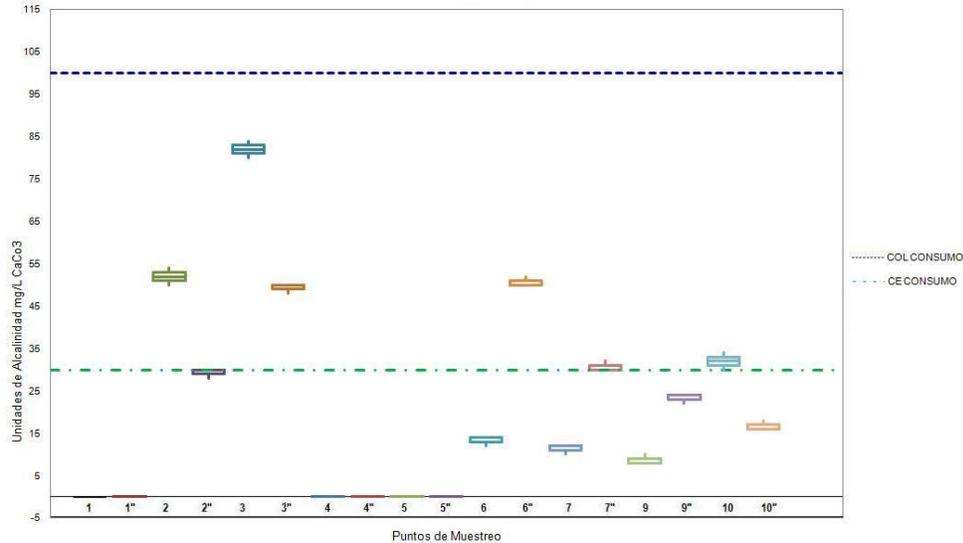
Los resultados obtenidos para el contenido de acidez total de todos los puntos de muestreo se ven en el Gráfico 1. Estos resultados sugieren que el agua lluvia no es apta para el consumo en los puntos 2, 2", 3, 3", 6, 6", 7", 9" y 10" debido a que sobrepasa el límite del decreto 1594: 50 mg/L  $\text{CaCO}_3$ , adicionalmente restringe su uso para riego debido a un posible taponamiento de los elementos de irrigación ya que permitiría el incremento de la corrosividad e interferiría en la reacción de sustancia al interior del agua.



**Gráfico 1. Comparación de resultados de concentraciones de Acidez Total con respecto a la norma: Decreto 1594 (COL en leyenda)**

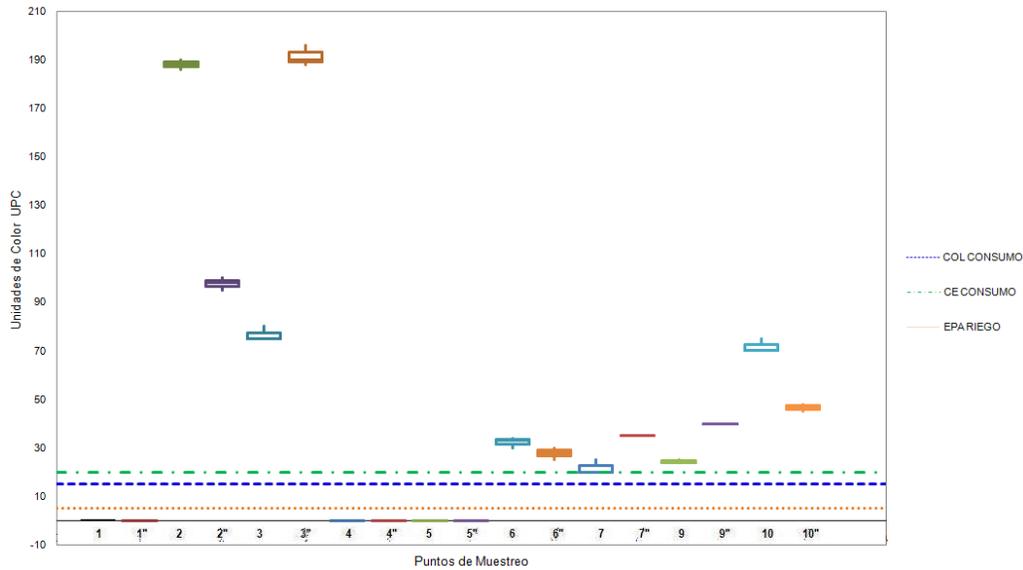
Los resultados obtenidos para el contenido de alcalinidad en todos los puntos de muestreo se ven en el Gráfico 2. Estos resultados sugieren que el agua lluvia no es apta para el consumo y para riego en los puntos 2, 2, 3, 3", 6", 7 y 10 debido a que sobrepasa el límite de la norma CE: 30 mg/L  $\text{CaCO}_3$ . Teniendo en cuenta el límite del

decreto 1594: 100 mg/L CaCO<sub>3</sub>, todos los puntos serían aptos para los respectivos usos consumo, baños, riego, lavado y fuentes.



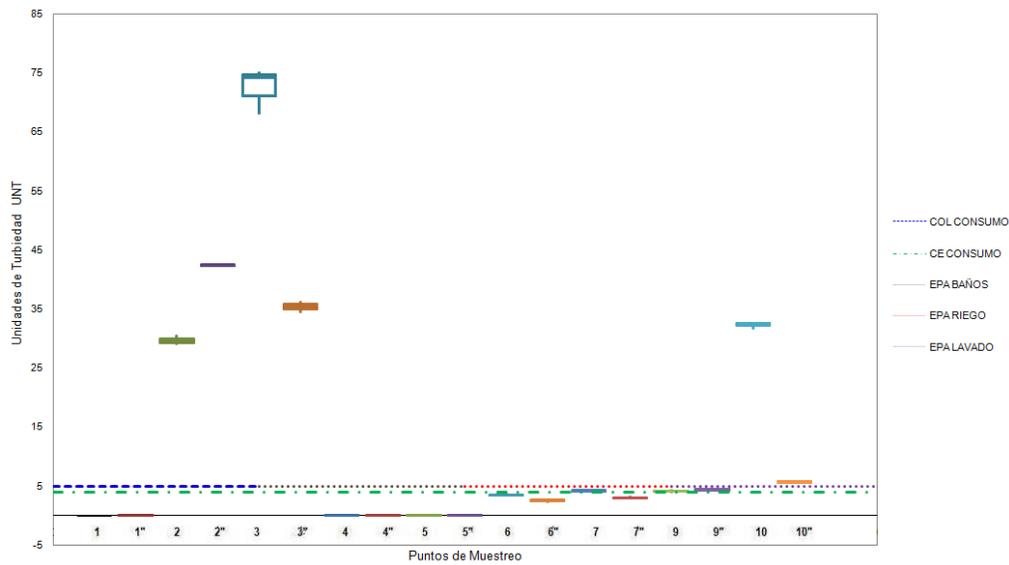
**Gráfico 2. Comparación de resultados de concentraciones de Alcalinidad con respecto a las normas: Decreto 1594 (COL en leyenda) y CE (CE en leyenda)**

Los resultados obtenidos para el contenido de color en todos los puntos de muestreo se ven en el Gráfico 3. Estos resultados sugieren que el agua lluvia no es apta para ningún uso debido a que sobrepasan los límites máximo de las normas para consumo del decreto 1594: 15 UPC, CE: 20 UPC y la norma EPA para riego: 5 UPC. Debido a lo anterior y como el color puede estar asociado a sustancias orgánicas en el agua, se restringe el uso fuentes.



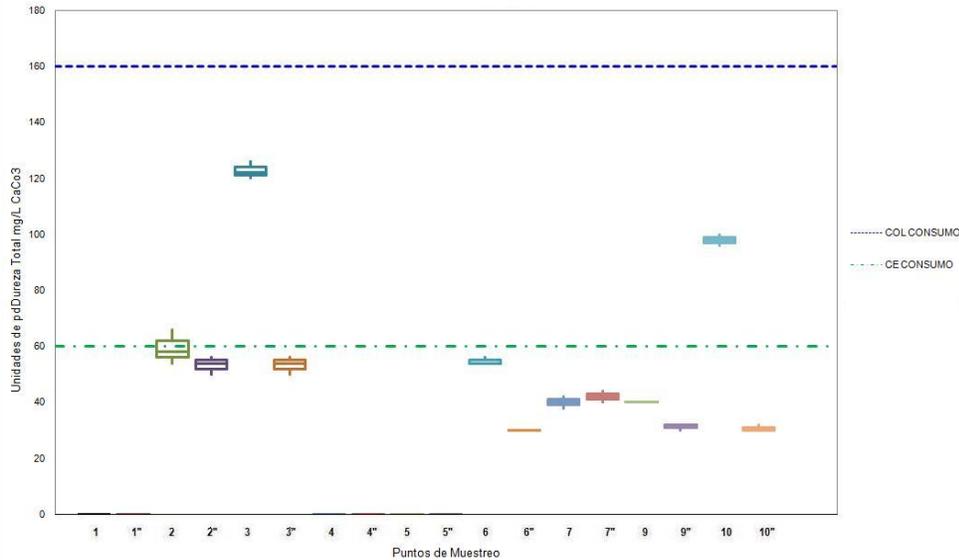
**Gráfico 3. Comparación de resultados de concentraciones de Color con respecto a las normas: Decreto 1594 (COL CONSUMO en leyenda) EPA para riego (EPA RIEGO en leyenda) y CE (CE CONSUMO en leyenda)**

Los resultados obtenidos para el contenido de turbiedad en todos los puntos de muestreo se ven en el Gráfico 4. Estos resultados sugieren que el agua lluvia no es apta para consumo, baños, riego, lavado y fuentes en los puntos 2, 2", 3, 3", 10 y 10" debido a que sobrepasan los límites máximo de las normas para consumo del decreto 1594: 5 UNT, CE: 4 UNT, EPA para baños: 5 UNT, EPA para riego: 5 UNT, EPA para lavado: 5 UNT, por lo que la turbidez confiere al agua un aspecto desagradable y así pensar en una posible contaminación. Mientras que los puntos 6, 6", 7, 7", 9, 9", si son aptos para los usos de riego, lavado y fuentes, porque no sobrepasan el límite máximo permitido de las normas.



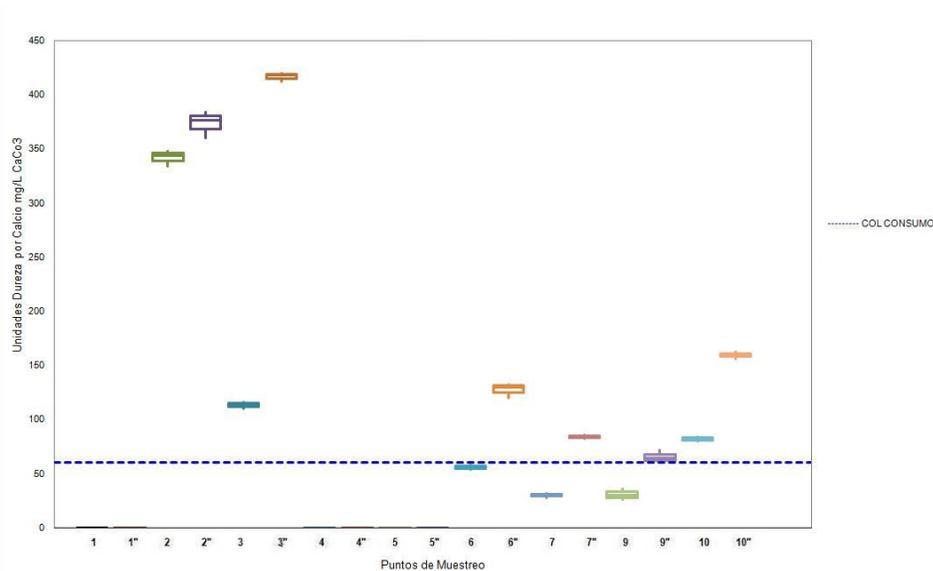
**Gráfico 4. Comparación de resultados de concentraciones de Turbiedad con respecto a las normas: Decreto 1594 (COL CONSUMO en leyenda), CE (CE CONSUMO en leyenda), EPA para baños (EPA BAÑOS en leyenda), EPA para riego (EPA RIEGO en leyenda) y EPA para lavado (EPA LAVADO en leyenda)**

Los resultados obtenidos para el contenido de dureza total en todos los puntos de muestreo se ven en el Gráfico 5. Estos resultados sugieren que el agua lluvia es apta para consumo, baños, riego, lavado y fuentes en todos los puntos teniendo en cuenta el límite máximo de la norma para consumo del decreto 1594: 160 mg/L  $\text{CaCo}_3$ , pero sí se tiene en cuenta la norma para consumo CE: 60 mg/L  $\text{CaCo}_3$ , los puntos 3 y 10'' no serían aptos para los usos antes mencionados, mientras que los demás puntos sí están en el rango máximo admisible.



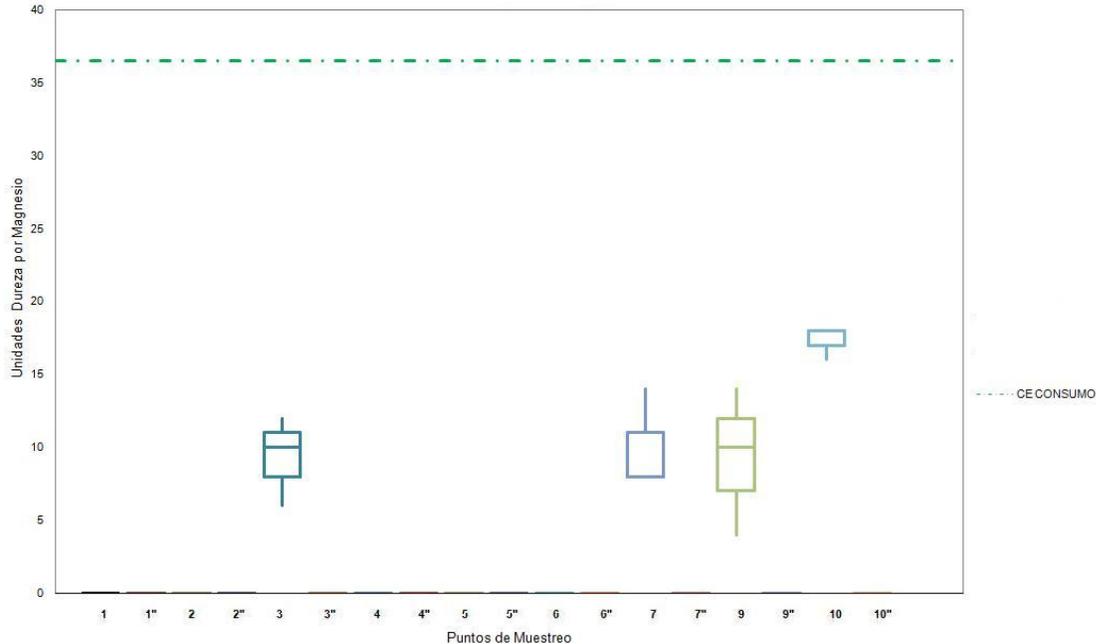
**Gráfico 5. Comparación de resultados de concentraciones de Dureza Total con respecto a las normas: Decreto 1594 (COL CONSUMO en leyenda) y CE (CE CONSUMO en leyenda)**

Los resultados obtenidos para el contenido de dureza por calcio en todos los puntos de muestreo se ven en el Gráfico 6. Estos resultados sugieren que el agua lluvia no es apta para consumo, baños, riego, lavado y fuentes en los puntos 2, 2", 3, 3", 6", 7", 9", 10 y 10" teniendo en cuenta el límite máximo de la norma para consumo del decreto 1594: 60 mg/L CaCO<sub>3</sub>, mientras los puntos 6, 7 y 9 sí están en el rango máximo admisible.



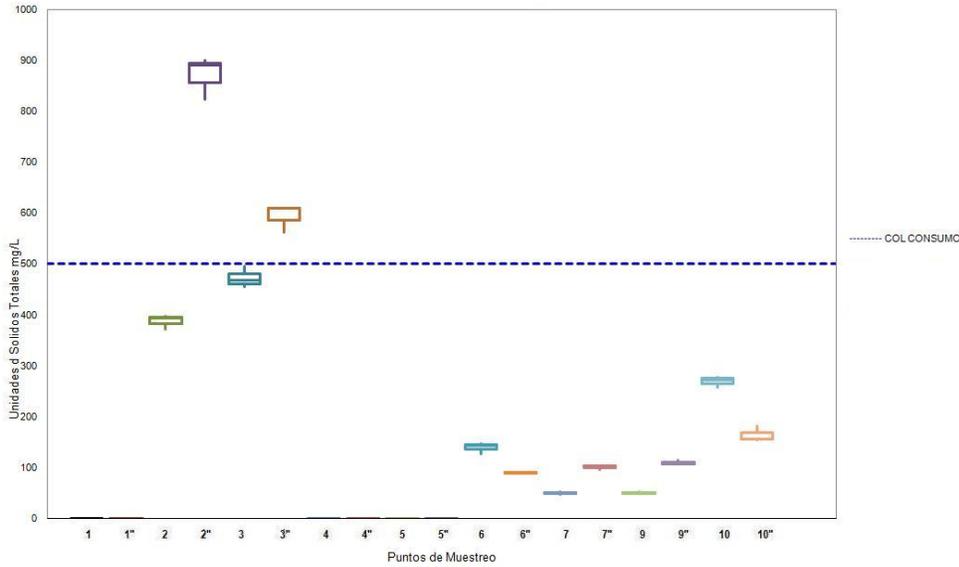
**Gráfico 6. Comparación de resultados de concentraciones de Dureza por Calcio con respecto a las normas: Decreto 1594 (COL CONSUMO en leyenda)**

Los resultados obtenidos para el contenido de dureza por calcio en todos los puntos de muestreo se ven en el Gráfico 7. Estos resultados sugieren que el agua lluvia es apta para consumo, baños, riego, lavado y fuentes en todos los puntos teniendo en cuenta el límite máximo de la norma para consumo CE: 36,5 mg/L  $\text{CaCO}_3$ .



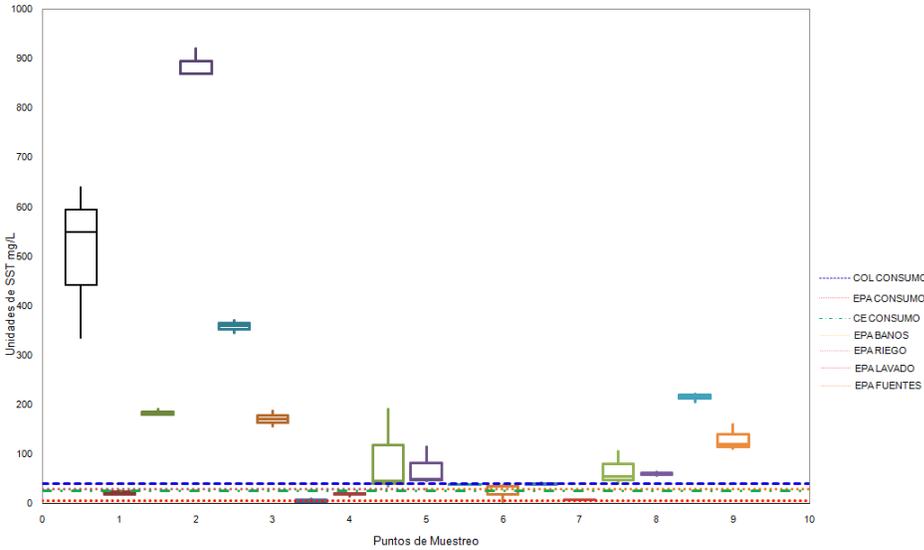
**Gráfico 7. Comparación de resultados de concentraciones de Dureza por Magnesio con respecto a las normas: CE (CE CONSUMO en leyenda)**

Los resultados obtenidos para el contenido de sólidos totales en todos los puntos de muestreo se ven en el Gráfico 8. Estos resultados sugieren que el agua lluvia no es apta para consumo, baños, riego, lavado y fuentes en los puntos 2" y 3" teniendo en cuenta que sobrepasa el límite máximo de la norma para consumo del decreto 1594: 500 mg/L, mientras que los otros puntos son aptos para usos de riego, lavado y fuentes.



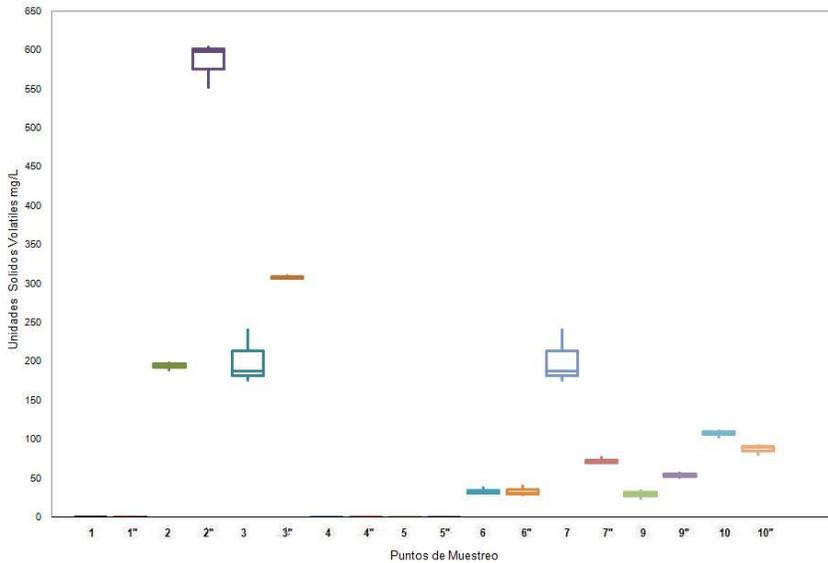
**Gráfico 8. Comparación de resultados de concentraciones de Sólidos Totales con respecto a las normas: Decreto 1594 (COL CONSUMO en leyenda)**

Los resultados obtenidos para el contenido de sólidos suspendidos totales en todos los puntos de muestreo se ven en el Gráfico 9. Estos resultados sugieren que el agua lluvia no es apta para consumo, baños, riego, lavado y fuentes en los puntos 1, 2, 2", 3, 3", 5, 5", 9, 9", 10 y 10" debido a que sobrepasan los límites máximo de las normas para consumo del decreto 1594: 40 mg/L, EPA: 5 mg/L, CE: 25 mg/L, EPA para baños: 5 mg/L, EPA para riego: 30 mg/L, EPA para lavado: 5 mg/L, EPA para paisajismo: 30 mg/L. Mientras que los puntos 1", 4, 4", 6, 6", 7 y 7" sí son aptos para consumo, baños, riego, lavado y fuentes ya que se encuentran por debajo del límite máximo permitido estipulado por las norma en mención.



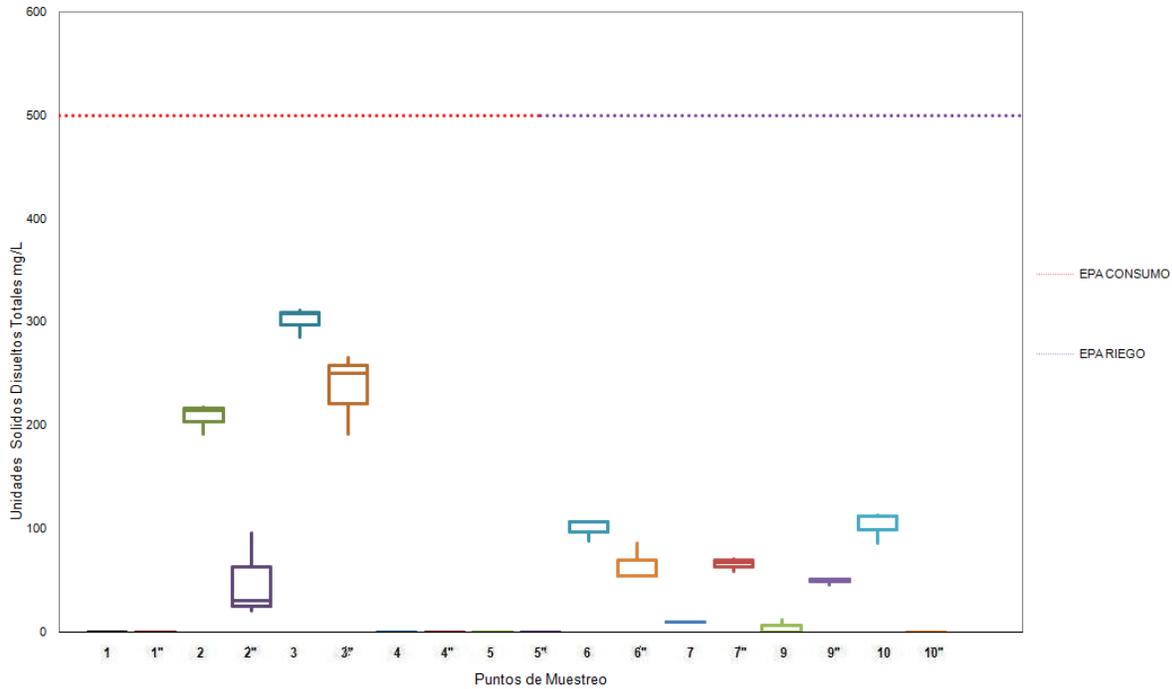
**Gráfico 9. Comparación de resultados de concentraciones de Sólidos Suspendedos Totales con respecto a las normas: Decreto 1594 (COL CONSUMO en leyenda), CE (CE CONSUMO en leyenda), EPA para consumo (EPA CONSUMO en leyenda), para baños (EPA BAÑOS en leyenda), EPA para riego (EPA RIEGO en leyenda), EPA para lavado (EPA LAVADO en leyenda), EPA para fuentes (EPA FUENTES en leyenda)**

Los resultados obtenidos para el contenido de sólidos volátiles en todos los puntos de muestreo se ven en el Gráfico 10.



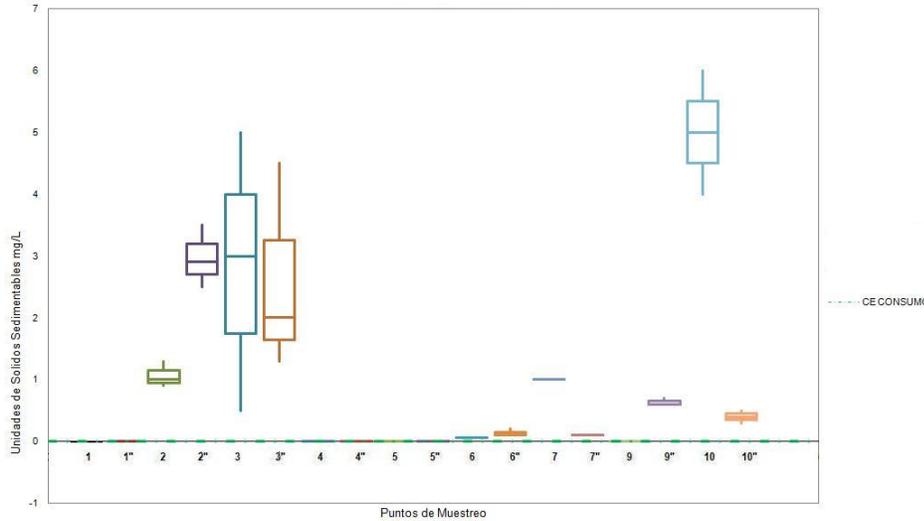
**Gráfico 10. Comparación de resultados de concentraciones de Sólidos Volátiles**

Los resultados obtenidos para el contenido de sólidos disueltos totales en todos los puntos de muestreo se ven en el Gráfico 11. Estos resultados sugieren que el agua lluvia es apta para consumo, baños, riego, lavado y fuentes en todos los puntos debido a que no sobrepasan los límites máximo de las normas para consumo EPA: 500 mg/L y EPA para riego: 500 mg/L.



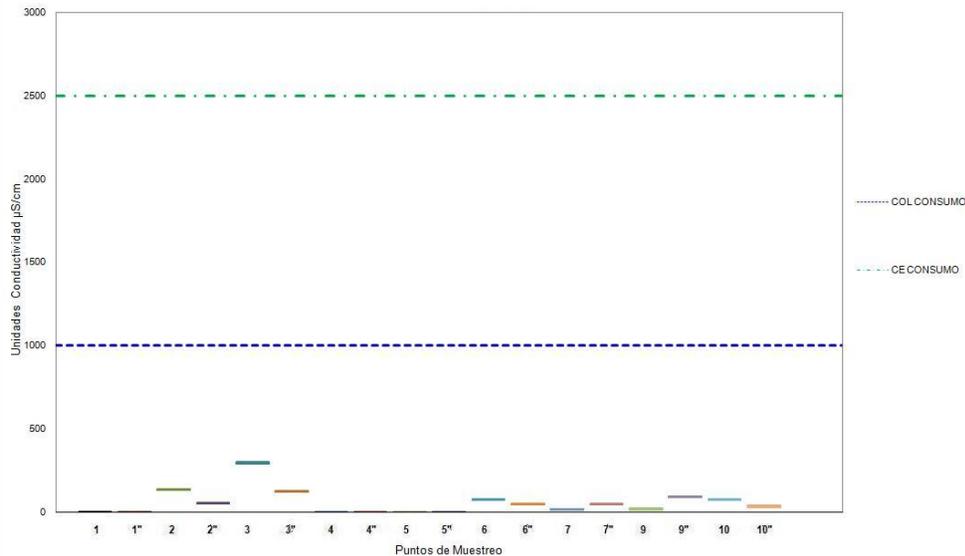
**Gráfico 11. Comparación de resultados de concentraciones de Sólidos Disueltos Totales con respecto a la norma para consumo (EPA CONSUMO en leyenda) y para riego (EPA RIEGO en leyenda)**

Los resultados obtenidos para el contenido de sólidos sedimentables en todos los puntos de muestreo se ven en el Gráfico 12. Estos resultados sugieren que el agua lluvia no es apta para consumo, baños, riego, lavado y fuentes en todos los puntos debido a que sobrepasa el límite máximo de la norma para consumo CE: 0 mg/L, ya que la presencia de partículas en el agua puede causar taponamiento en los sistemas de distribución para riego.



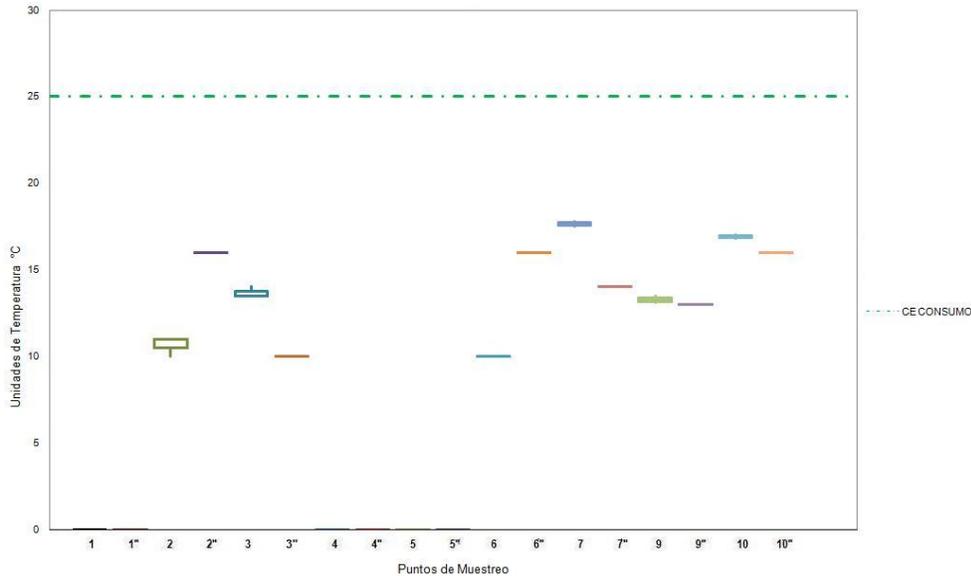
**Gráfico 12. Comparación de resultados de concentraciones de Sólidos Sedimentables con respecto a la norma CE para consumo (CE CONSUMO en leyenda)**

Los resultados obtenidos para el contenido de conductividad en todos los puntos de muestreo se ven en el Gráfico 13. Estos resultados sugieren que el agua lluvia es apta para consumo, baños, riego, lavado y fuentes en todos los puntos debido a que no sobrepasan los límites máximos de las normas para consumo del decreto 1594: 1000 mg/L y CE: 2500 mg/L.



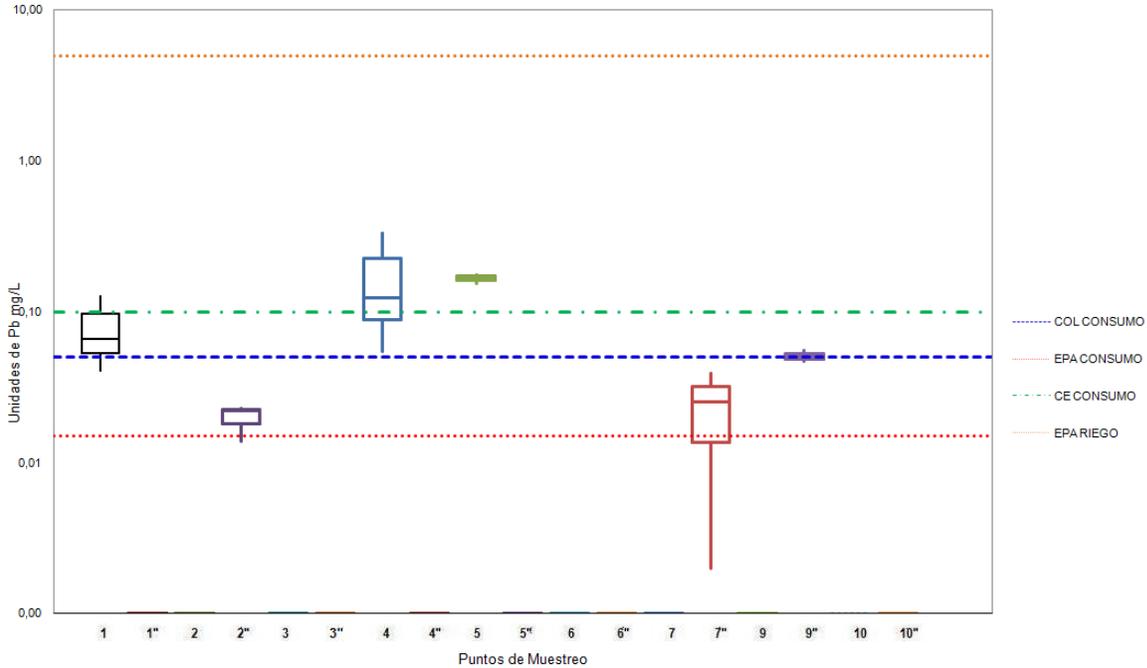
**Gráfico 13. Comparación de resultados de concentraciones de Conductividad con respecto a la norma decreto 1594 para consumo (COL CONSUMO en leyenda) y CE (CE CONSUMO en leyenda)**

Los resultados obtenidos para el contenido de temperatura en todos los puntos de muestreo se ven en el Gráfico 14. Estos resultados sugieren que el agua lluvia es apta para consumo, baños, riego, lavado y fuentes en todos los puntos debido a que no sobrepasa el límite máximo de la norma para consumo CE: 25 °C.



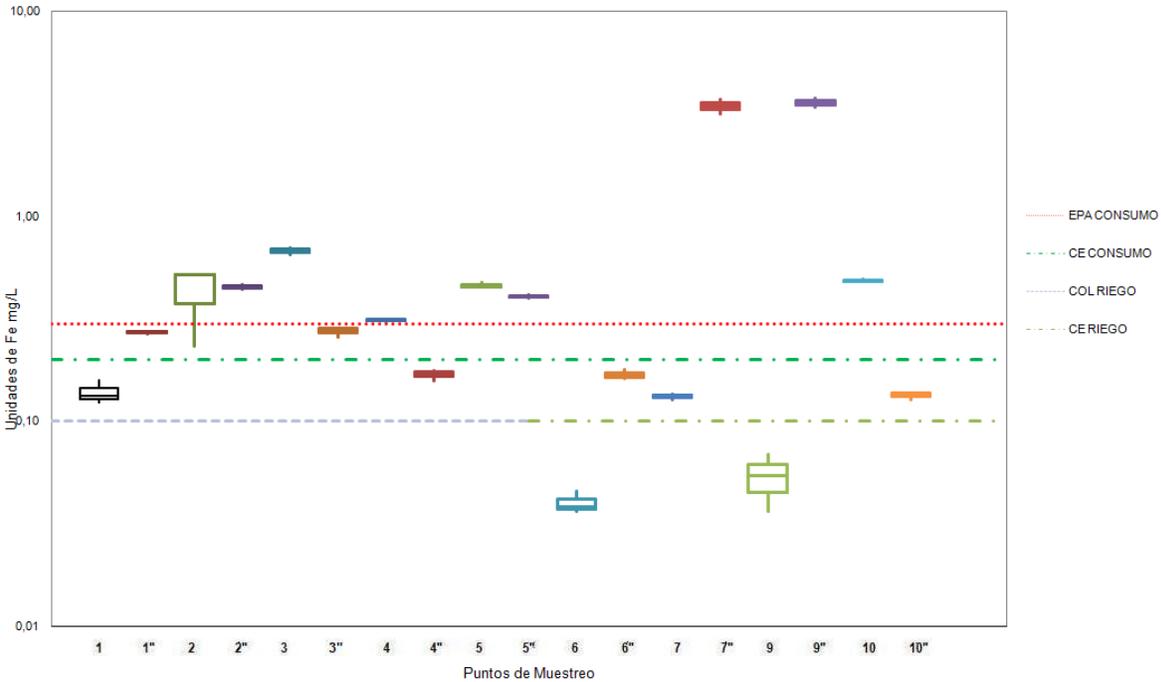
**Gráfico 14. Comparación de resultados de concentraciones de Temperatura con respecto la norma para consumo CE (CE CONSUMO en leyenda)**

Los resultados obtenidos para el contenido de plomo en todos los puntos de muestreo se ven en el Gráfico 15. Estos resultados sugieren que el agua lluvia no es apta para consumo, baños, riego, lavado y fuentes en los puntos 4 y 5 debido a que sobrepasan los límites máximos de las normas para consumo del decreto 1594: 0,05 mg/L, EPA: 0,015 mg/L, CE: 0,1 mg/L. Mientras los otros puntos sí son aptos para consumo, baños, riego, lavado y fuentes debido a que no sobrepasan los límites máximos establecidos por de las normas en mención.



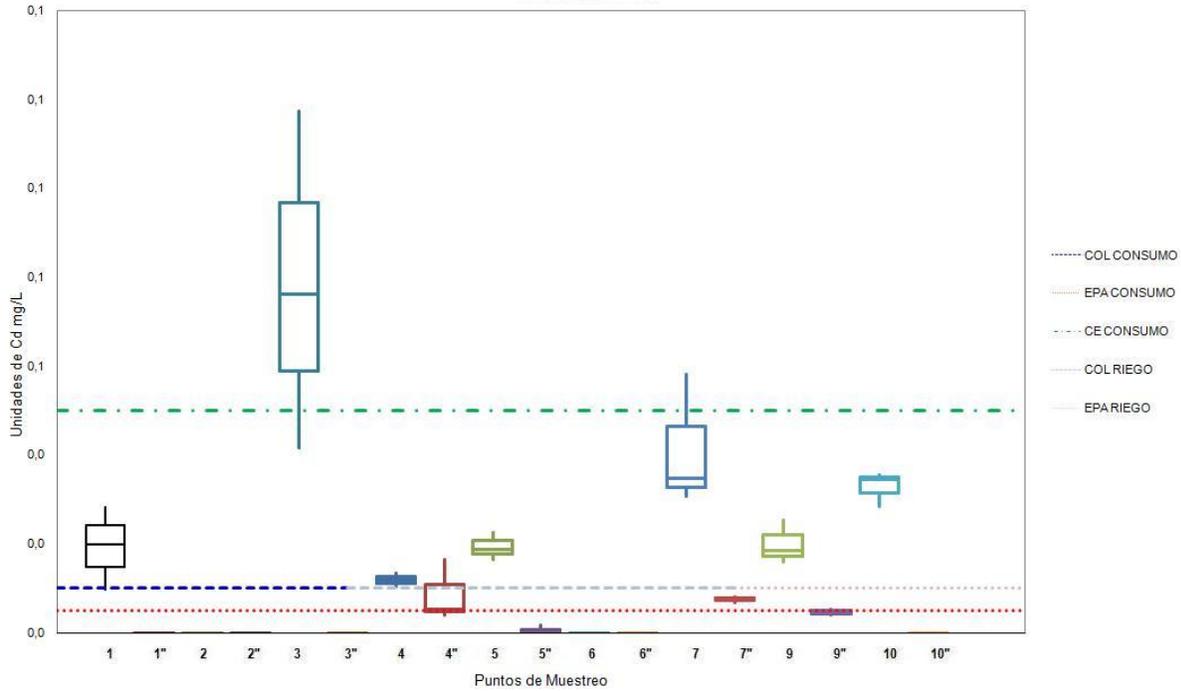
**Gráfico 15. Comparación de resultados de concentraciones de Plomo (Pb) con respecto a la norma decreto 1594 para consumo (COL CONSUMO en leyenda), EPA (EPA CONSUMO en leyenda), CE (CE CONSUMO en leyenda) y EPA para riego (EPA RIEGO en leyenda)**

Los resultados obtenidos para el contenido de hierro en todos los puntos de muestreo se ven en el Gráfico 16. Estos resultados sugieren que el agua lluvia es apta para consumo, baños, lavado y fuentes en los puntos 1, 1'', 3'', 4'', 6, 6'', 7, 9 y 10'', teniendo en cuenta el límite máximo de la norma para consumo EPA: 0,3 mg/L; por otro lado sí se tuviera en cuenta la norma para consumo CE: 0,2 mg/L los resultados sugieren que el agua lluvia es apta para consumo, baños, lavado y fuentes en los puntos 1, 4'', 6, 6'', 7, 9 Y 10'', por otro lado sí se tuviera en cuenta las normas para riego del decreto 1594: 0,1 mg/L y para riego CE: 0,1 mg/L sólo servirían los puntos 6 y 9 para riego, en particular sí se quiere evitar el taponamiento de elementos de irrigación.



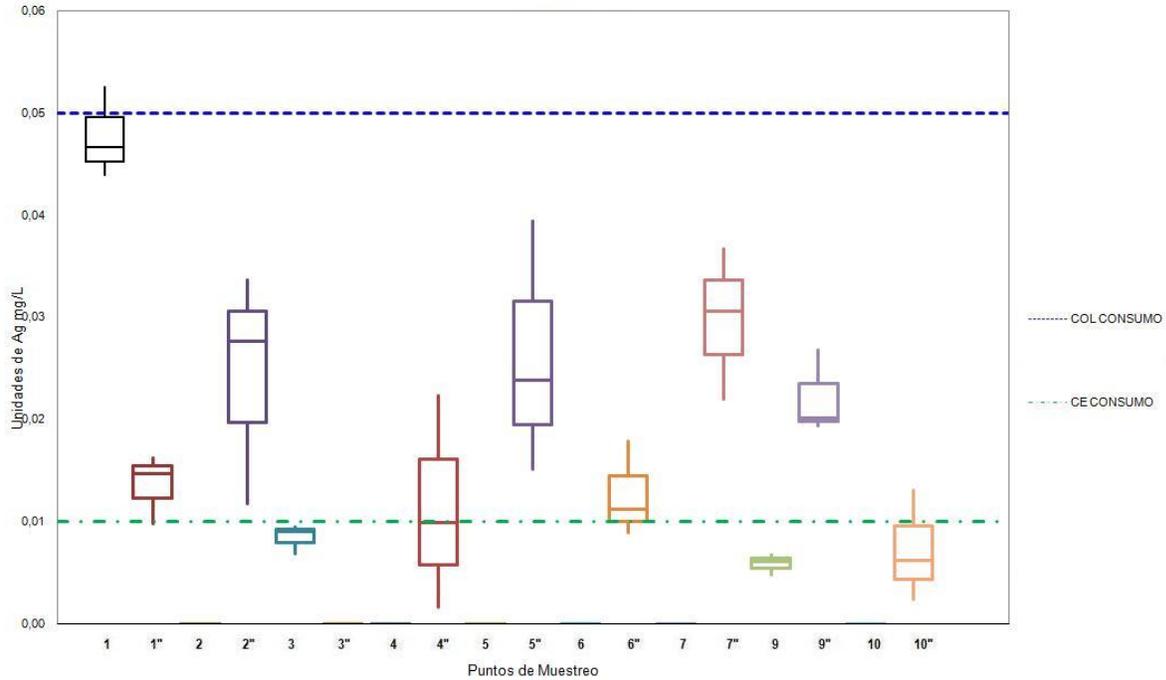
**Gráfico 16. Comparación de resultados de concentraciones de Hierro (Fe) con respecto a la norma EPA (EPA CONSUMO en leyenda), CE (CE CONSUMO en leyenda), decreto 1594 para riego (COL RIEGO en leyenda), y CE para riego (CE RIEGO en leyenda)**

Los resultados obtenidos para el contenido de cadmio en todos los puntos de muestreo se ven en el Gráfico 17. Estos resultados sugieren que el agua lluvia es apta para consumo, baños, lavado y fuentes en los puntos 1", 2, 2", 3", 4", 5", 6, 9" y 10", teniendo en cuenta el límite máximo de la norma para consumo EPA: 0,005 mg/L; por otro lado sí se tuviera en cuenta las normas para consumo del decreto 1594: 0,01 mg/L, para riego del decreto 1594: 0,01 mg/L y para riego EPA: 0,01 mg/L en los puntos 1", 2, 2", 3", 4", 5", 6, 7", 9" y 10", los resultados sugieren que el agua lluvia es apta para consumo, baños, riego, lavado y fuentes y en particular para riego evitando el taponamiento de elementos de irrigación; adicionalmente teniendo en cuenta la norma para consumo CE: 0,05 mg/L servirían todos los puntos para consumo, baños, lavado y fuentes a excepción de los puntos 3 y 7 ya que sobrepasan el límite máximo de la norma en mención.



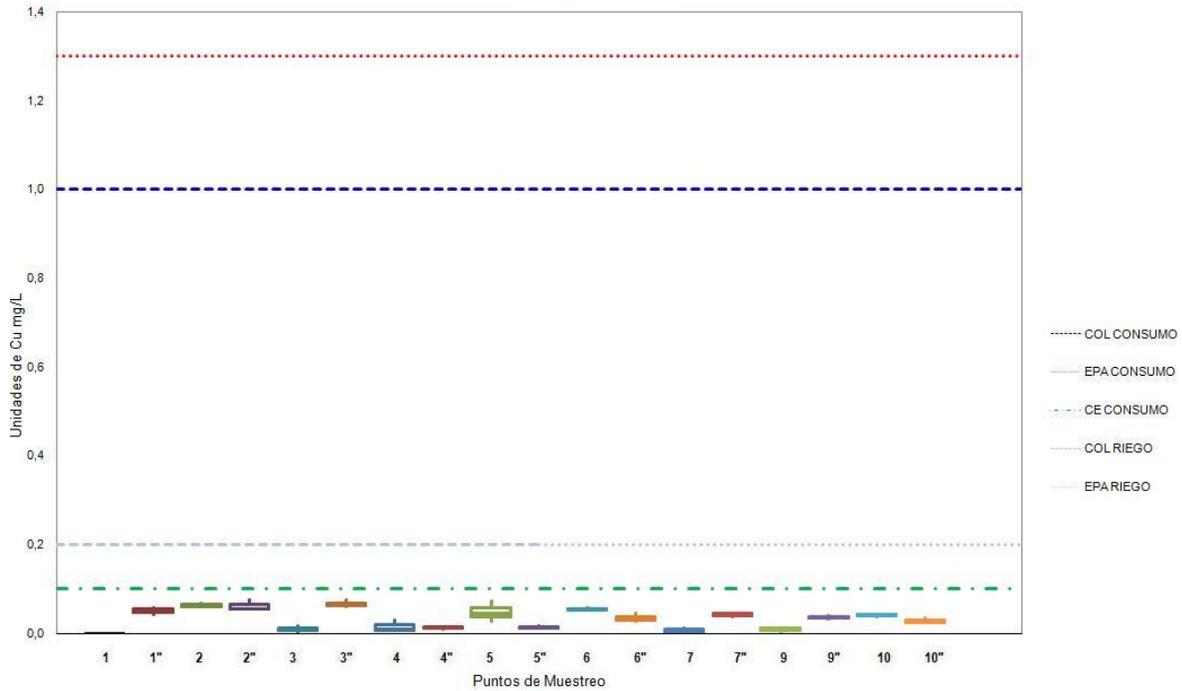
**Gráfico 17. Comparación de resultados de concentraciones de Cadmio (Cd) con respecto a la norma decreto 1594 para consumo (COL CONSUMO en leyenda), EPA (EPA CONSUMO en leyenda), CE (CE CONSUMO en leyenda), decreto 1594 para riego (COL RIEGO en leyenda), y EPA para riego (EPA RIEGO en leyenda)**

Los resultados obtenidos para el contenido de plata de todos los puntos en muestreo se ven en el Gráfico 18. Estos resultados sugieren que el agua lluvia es apta para consumo, baños, riego, lavado y fuentes en todos los puntos, teniendo en cuenta el límite máximo de las norma para consumo el decreto 1594: 0,05 mg/L, por otro lado teniendo en cuenta el límite máximo de la norma para consumo CE: 0,01 mg/L, sugiere que el agua lluvia es apta para consumo, baños, riego, lavado y fuentes en todos los puntos a excepción de los puntos 3, 9 y 10", debido a que sobrepasa la norma en mención.



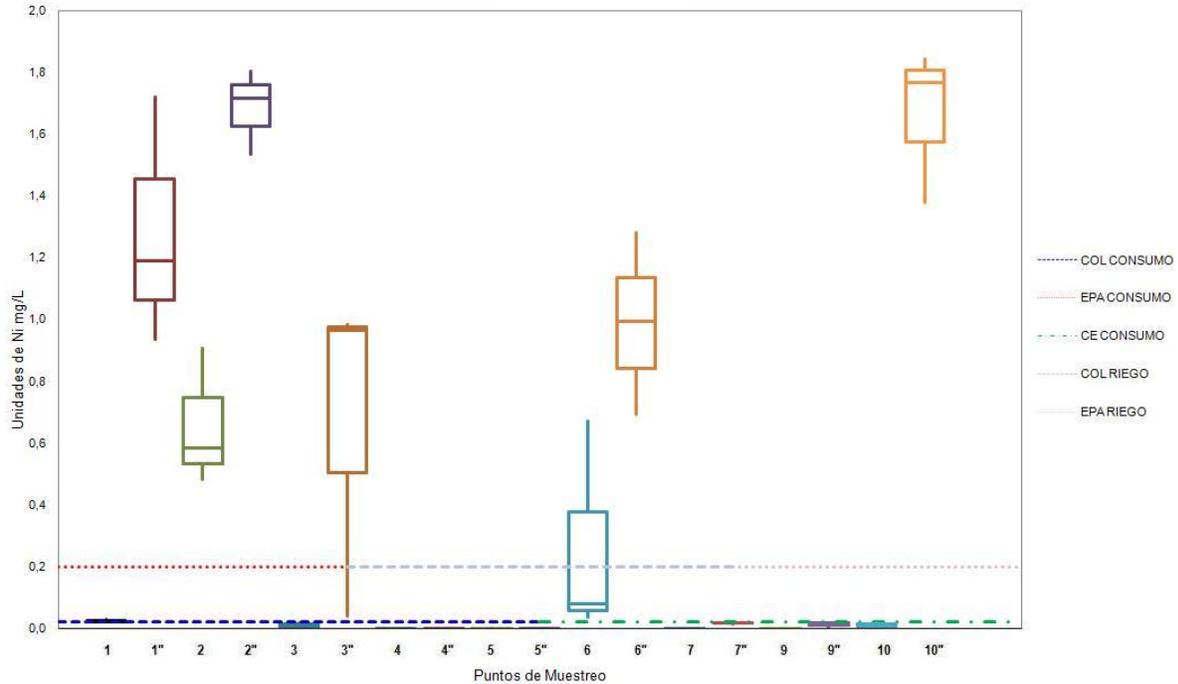
**Gráfico 18. Comparación de resultados de concentraciones de Plata (Ag) con respecto la norma decreto 1594 para consumo (COL CONSUMO en leyenda) y CE (CE CONSUMO en leyenda)**

Los resultados obtenidos para el contenido de cobre en todos los puntos de muestreo se ven en el Gráfico 19. Estos resultados sugieren que el agua lluvia es apta para consumo, baños, riego, lavado y fuentes en todos los puntos, ya que no sobrepasan los límite máximos de las normas para consumo el decreto 1594: 1,0 mg/L, EPA: 1,3 mg/L y CE: 0,1 mg/L; y las normas para riego del decreto 1594: 0,2 mg/L y EPA: 0,2 mg/L



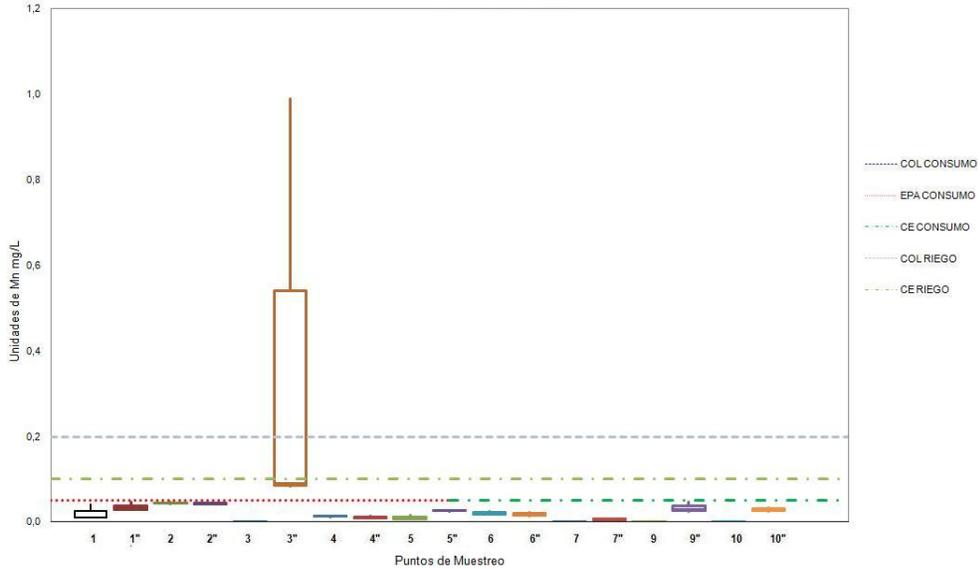
**Gráfico 19. Comparación de resultados de concentraciones de Cobre (Cu) con respecto a la norma decreto 1594 para consumo (COL CONSUMO en leyenda), EPA (EPA CONSUMO en leyenda), CE (CE CONSUMO en leyenda), decreto 1594 para riego (COL RIEGO en leyenda) y EPA para riego (EPA RIEGO en leyenda)**

Los resultados obtenidos para el contenido de níquel en todos los puntos de muestreo se ven en el Gráfico 20. Estos resultados sugieren que el agua lluvia es apta para consumo, baños, riego, lavado y fuentes en los puntos 1, 3, 4, 4", 5, 5", 7, 7", 9, 9" y 10 ya que no sobrepasan los límites máximos de las normas para consumo el decreto 1594: 0,02 mg/L, EPA: 0,2 mg/L, CE: 0,02 mg/L; y las normas para riego del decreto 1594: 0,2 mg/L y EPA: 0,2 mg/L.



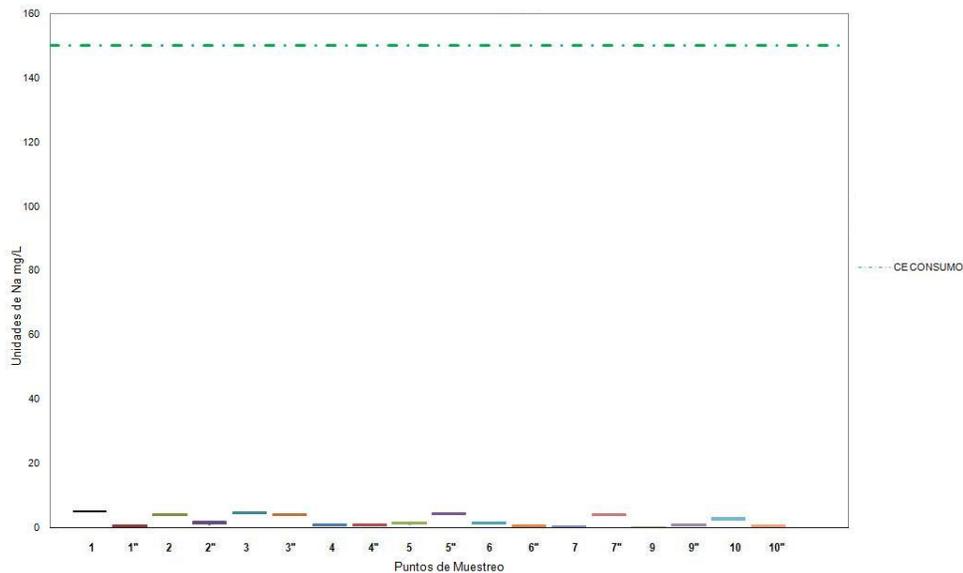
**Gráfico 20. Comparación de resultados de concentraciones de Níquel (Ni) con respecto a la norma decreto 1594 para consumo (COL CONSUMO en leyenda), EPA (EPA CONSUMO en leyenda), CE (CE CONSUMO en leyenda), decreto 1594 para riego (COL RIEGO en leyenda) y EPA para riego (EPA RIEGO en leyenda)**

Los resultados obtenidos para el contenido de manganeso en todos los puntos de muestreo se ven en el Gráfico 21. Estos resultados sugieren que el agua lluvia es apta para consumo, baños, riego, lavado y fuentes en todos los puntos ya que no sobrepasan los límites máximos de las normas para consumo EPA: 0,05 mg/L, CE: 0,05 mg/L y las normas para riego del decreto 1594: 0,2 mg/L y CE: 0,1 mg/L, a excepción del punto 3".



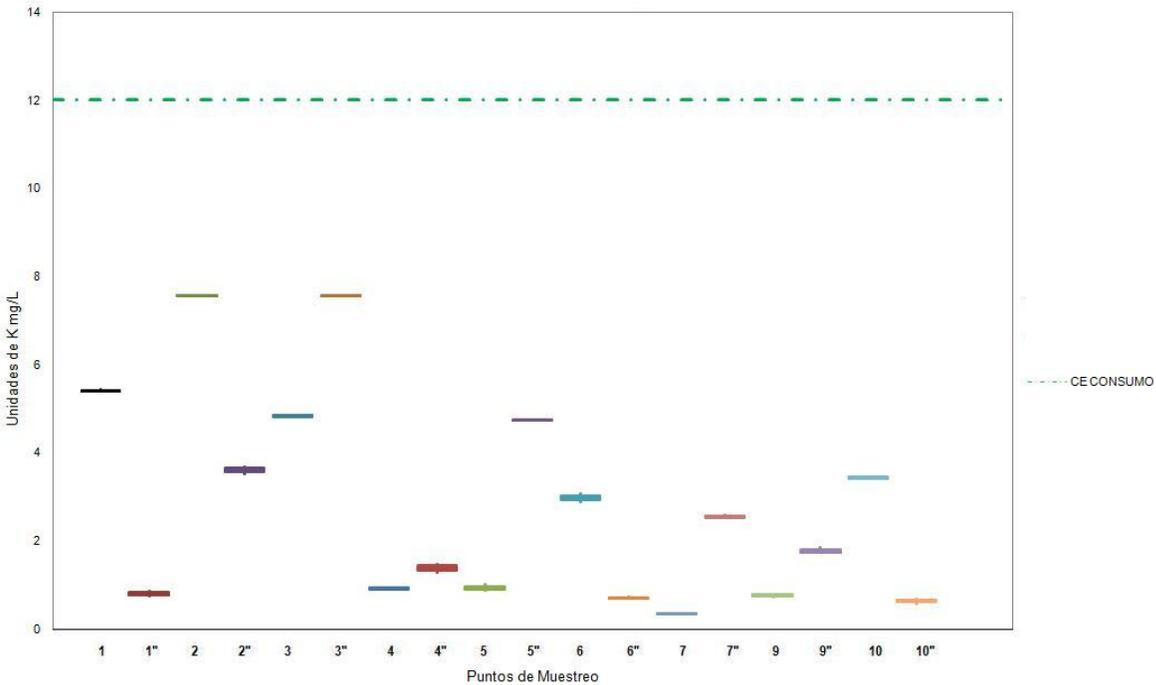
**Gráfico 21. Comparación de resultados de concentraciones de Manganeso (Mn) con respecto a la norma decreto 1594 para consumo (COL CONSUMO en leyenda), EPA (EPA CONSUMO en leyenda), CE (CE CONSUMO en leyenda), decreto 1594 para riego (COL RIEGO en leyenda) y EPA para riego (EPA RIEGO en leyenda)**

Los resultados obtenidos para el contenido de sodio en todos los puntos de muestreo se ven en el Gráfico 22. Estos resultados sugieren que el agua lluvia es apta para consumo, baños, riego, lavado y fuentes en todos los puntos, ya que no sobrepasan el límite máximo de la norma para consumo CE: 150 mg/L.



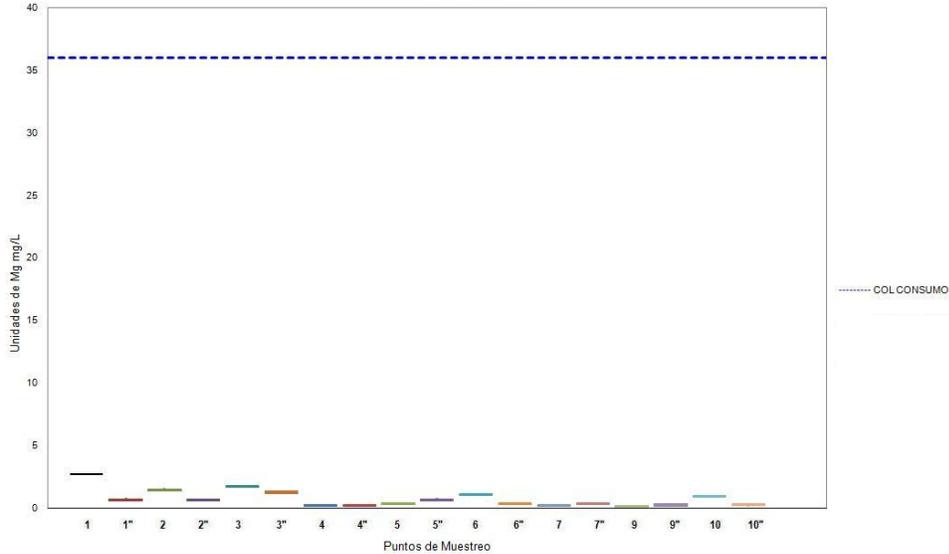
**Gráfico 22. Comparación de resultados de concentraciones de Sodio (Na) con respecto a la norma CE (CE CONSUMO en leyenda)**

Los resultados obtenidos para el contenido de potasio en todos los puntos de muestreo se ven en el Gráfico 23. Estos resultados sugieren que el agua lluvia es apta para consumo, baños, riego, lavado y fuentes en todos los puntos, ya que no sobrepasan el límite máximo de la norma para consumo CE: 12 mg/L.



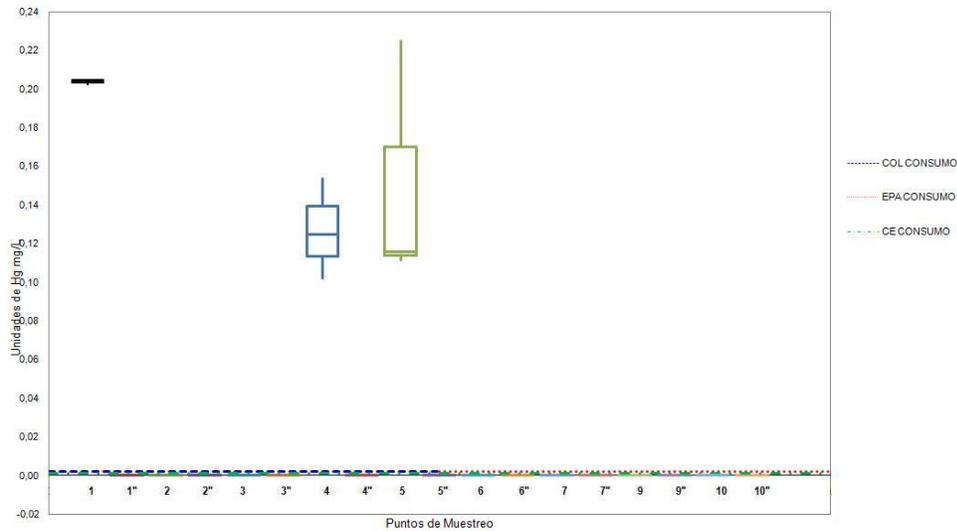
**Gráfico 23. Comparación de resultados de concentraciones de Potasio (K) con respecto a la norma CE (CE CONSUMO en leyenda)**

Los resultados obtenidos para el contenido de sodio en todos los puntos de muestreo se ven en el Gráfico 24. Estos resultados sugieren que el agua lluvia es apta para consumo, baños, riego, lavado y fuentes en todos los puntos, ya que no sobrepasan el límite máximo de la norma para consumo CE: 36 mg/L.



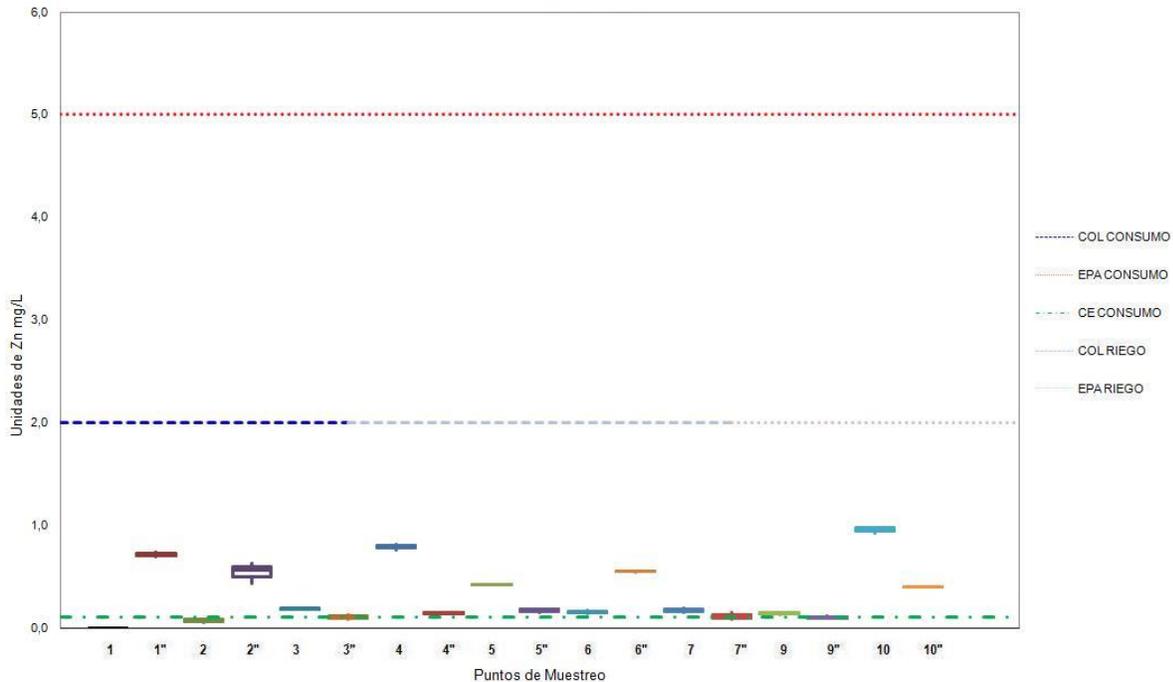
**Gráfico 24. Comparación de resultados de concentraciones de Magnesio (Mg) con respecto a la norma decreto 1594 para consumo (COL CONSUMO en leyenda)**

Los resultados obtenidos para el contenido de mercurio en todos los puntos de muestreo se ven en el Gráfico 25. Estos resultados sugieren que el agua lluvia es apta para consumo, baños, riego, lavado y fuentes en todos los puntos, ya que no sobrepasan los límites máximos de las normas para consumo del decreto 1594: 0,002 mg/L, EPA: 0,002 mg/L y CE: 0,001 mg/L., a excepción de los puntos 1, 4, y 5, los cuales no cumplen ninguna norma estipulada.



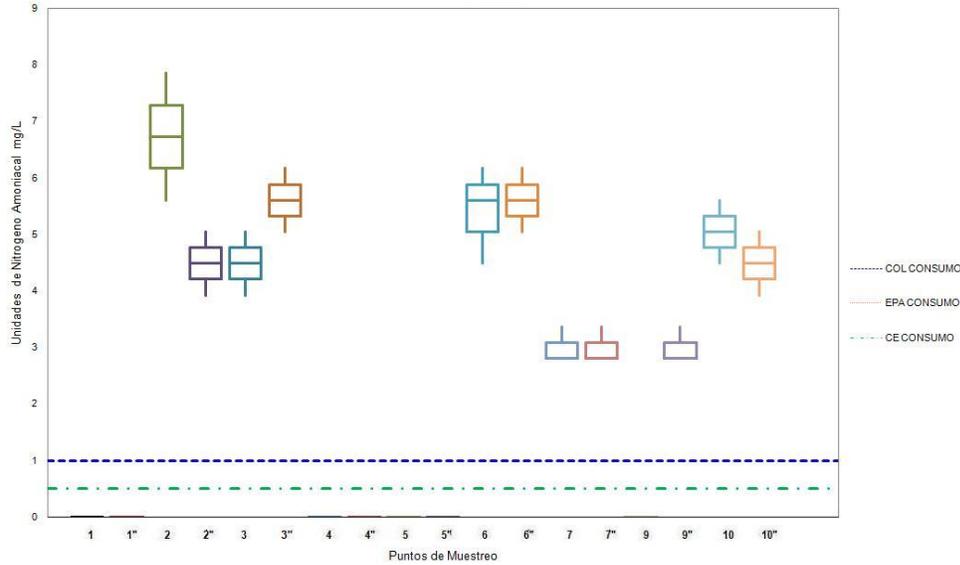
**Gráfico 25. Comparación de resultados de concentraciones de Mercurio (Hg) con respecto a la norma decreto 1594 para consumo (COL CONSUMO en leyenda), EPA (EPA CONSUMO en leyenda) y CE (CE CONSUMO en leyenda)**

Los resultados obtenidos para el contenido de zinc en todos los puntos de muestreo se ven en el Gráfico 26. Estos resultados sugieren que el agua lluvia es apta para consumo, baños, riego, lavado y fuentes en todos los puntos, ya que no sobrepasan los límites máximos de las normas para consumo del decreto 1594: 2,0 mg/L, EPA: 5,0 mg/L y normas para riego del decreto 1594: 2,0 mg/L, EPA: 2,0 mg/L; por otro lado sí se tiene en cuenta la norma para consumo CE: 0,1 mg/L, los resultados sugieren que el agua lluvia es apta para consumo, baños, riego, lavado y fuentes en los puntos 1, 2 y 3” respectivamente.



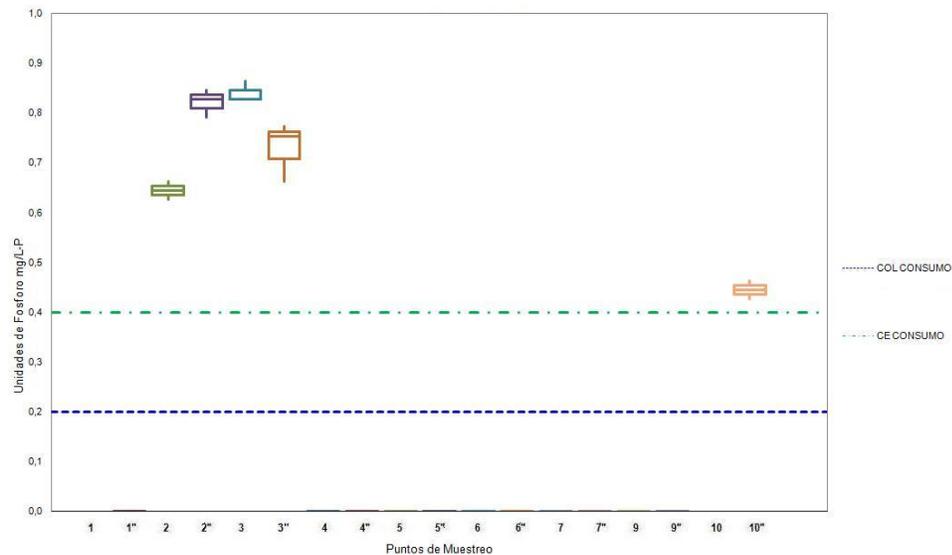
**Gráfico 26. Comparación de resultados de concentraciones de Zinc (Zn) con respecto a la norma decreto 1594 para consumo (COL CONSUMO en leyenda), EPA (EPA CONSUMO en leyenda), CE (CE CONSUMO en leyenda), decreto 1594 para riego (COL RIEGO en leyenda) y EPA para riego (EPA RIEGO en leyenda)**

Los resultados obtenidos para el contenido de nitrógeno amoniacal en todos los puntos de muestreo se ven en el Gráfico 27. Estos resultados sugieren que el agua lluvia es apta para consumo, baños, riego, lavado y fuentes en todos los puntos, ya que no sobrepasan los límites máximos de las normas para consumo del decreto 1594: 1,0 mg/L, y CE: 0,5 mg/L.



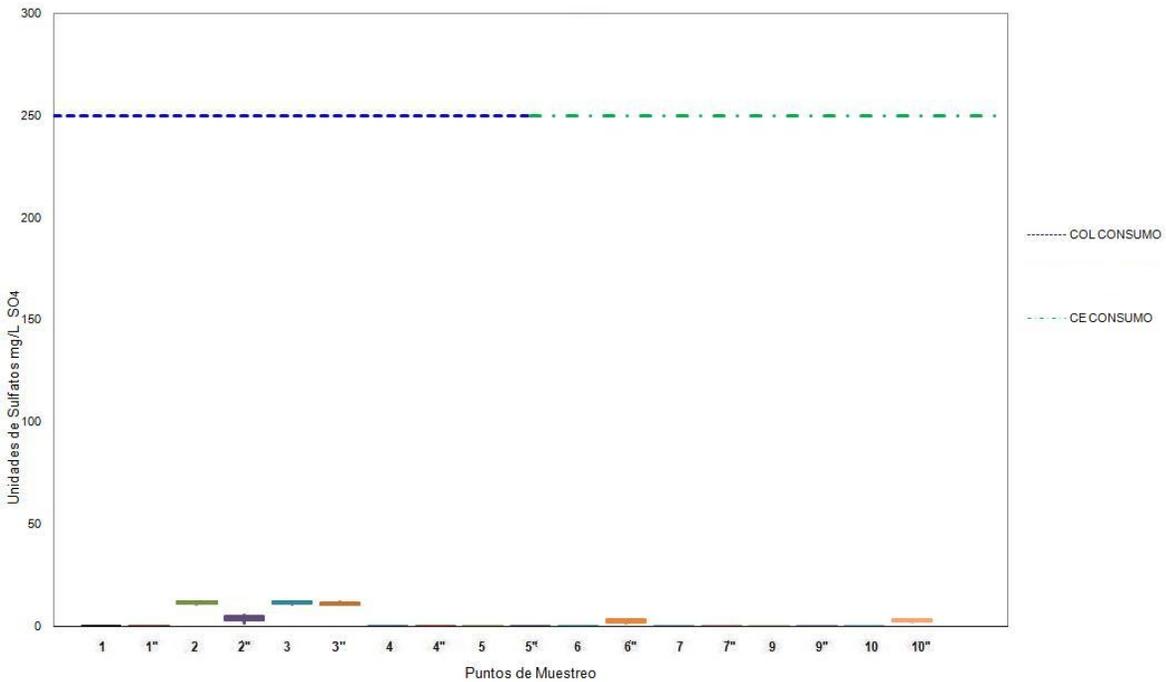
**Gráfico 27. Comparación de resultados de concentraciones de Nitrógeno Amoniacal con respecto a la norma decreto 1594 para consumo (COL CONSUMO en leyenda), EPA (EPA CONSUMO en leyenda) y CE (CE CONSUMO en leyenda)**

Los resultados obtenidos para el contenido de fósforo total en todos los puntos de muestreo se ven en el Gráfico 28. Estos resultados sugieren que el agua lluvia no es apta para consumo, baños, riego, lavado y fuentes en los puntos 2, 2", 3, 3" y 10" en los cuales se realizó dicho ensayo, ya que sobrepasan los límites máximos de las normas para consumo del decreto 1594: 0,2 mg/L, y CE: 0,4 mg/L.



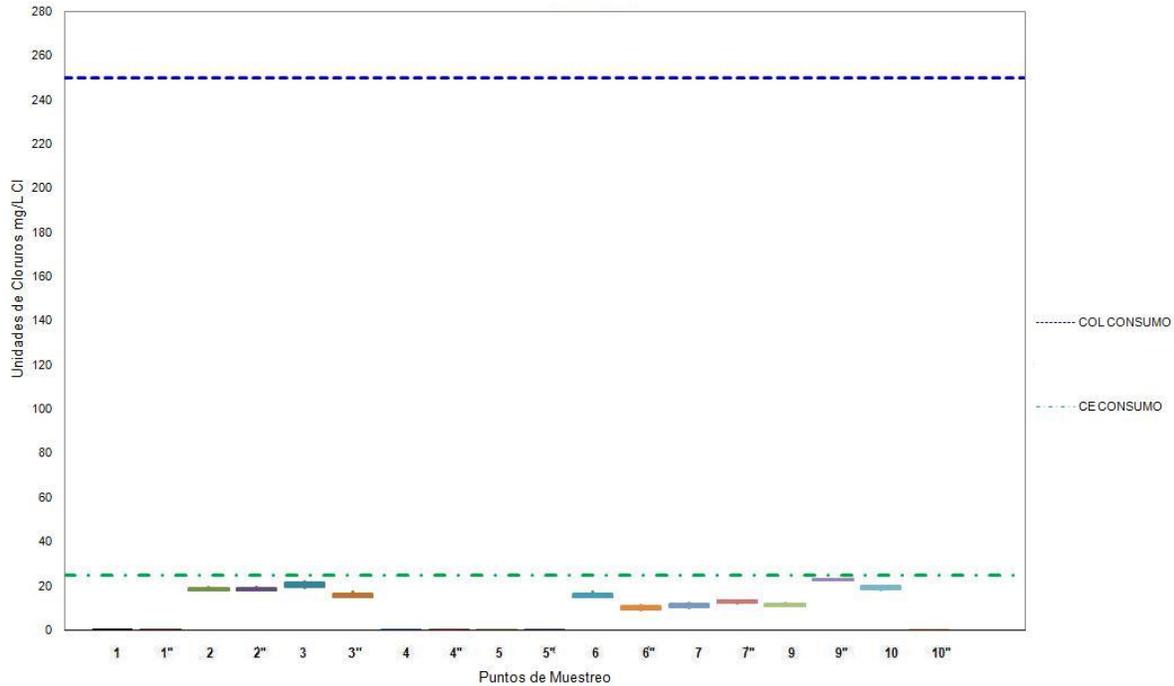
**Gráfico 28. Comparación de resultados de concentraciones de Fosforo Total con respecto a la norma decreto 1594 para consumo (COL CONSUMO en leyenda) y CE (CE CONSUMO en leyenda)**

Los resultados obtenidos para el contenido de sulfatos en todos los puntos de muestreo se ven en el Gráfico 29. Estos resultados sugieren que el agua lluvia es apta para consumo, baños, riego, lavado y fuentes en todos los puntos, ya que no sobrepasan los límites máximos de las normas para consumo del decreto 1594: 250 mg/L, y CE: 250 mg/L.



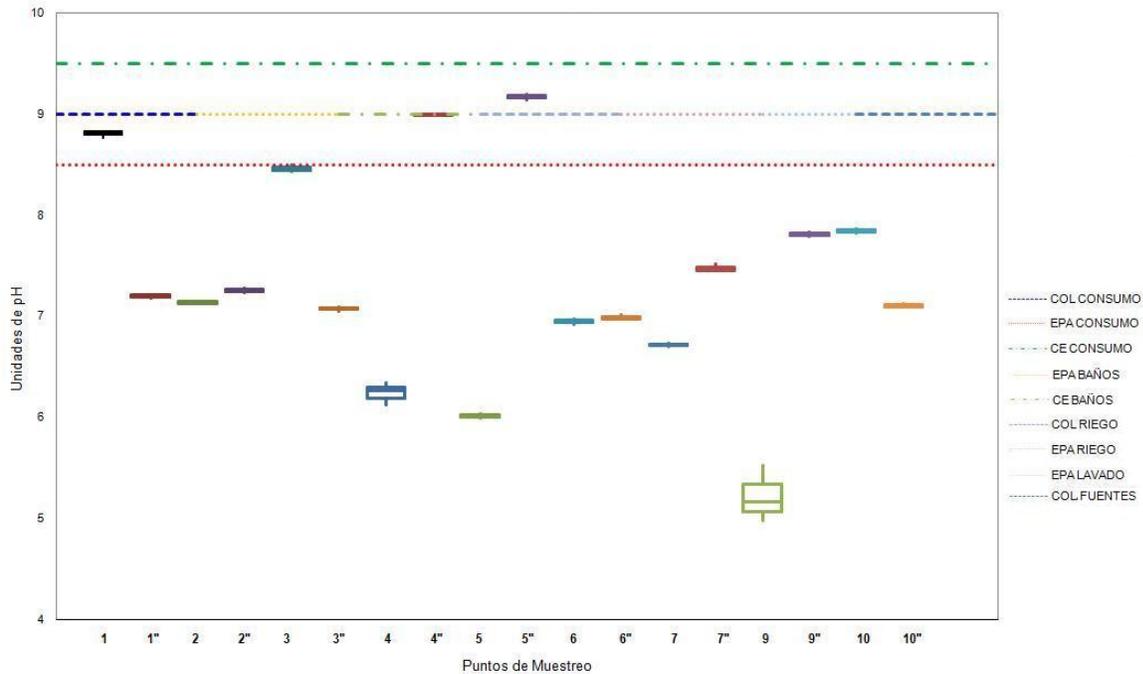
**Gráfico 29. Comparación de resultados de concentraciones de Sulfatos con respecto a la norma decreto 1594 para consumo (COL CONSUMO en leyenda) y CE (CE CONSUMO en leyenda)**

Los resultados obtenidos para el contenido de cloruros en todos los puntos de muestreo se ven en el Gráfico 30. Estos resultados sugieren que el agua lluvia es apta para consumo, baños, riego, lavado y fuentes en todos los puntos, ya que no sobrepasan los límites máximos de las normas para consumo del decreto 1594: 250 mg/L, y CE: 25 mg/L.



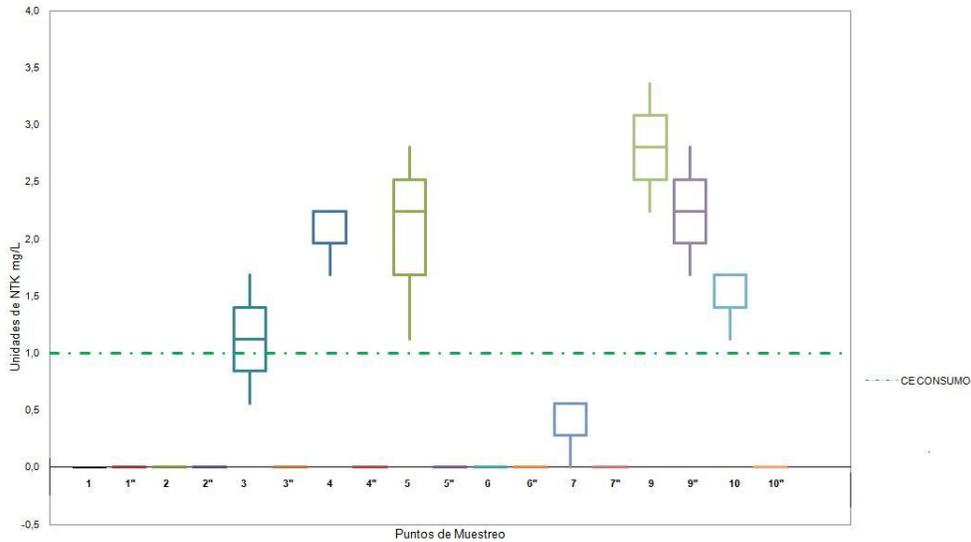
**Gráfico 30. Comparación de resultados de concentraciones de Cloruros con respecto a la norma decreto 1594 para consumo (COL CONSUMO en leyenda) y CE (CE CONSUMO en leyenda)**

Los resultados obtenidos para el contenido de pH en todos los puntos de muestreo se ven en el Gráfico 31. Estos resultados sugieren que el agua lluvia es apta para consumo, en los puntos 1'', 2, 2'', 3, 3'', 4, 5, 6, 6'', 7, 7'', 9, 9'', 10 y 10'', ya que no sobrepasan el límite máximo de la norma para consumo EPA: 8,5 UND, por otro lado se tiene que el agua lluvia es apta para consumo, baños, riego, lavado y paisajismo, en los puntos 1,1'', 2, 2'', 3, 3'', 4, 4'', 5, 6, 6'', 7, 7'', 9, 9'', 10 y 10'', debido que no sobrepasan los límites máximos de las normas para consumo del decreto 1594: 9,0 UND, baños EPA: 9 UND, baños CE: 9 UND, riego del decreto 1594: 9,0 UND, riego EPA: 9 UND, lavado EPA: 9 UND y paisajismo del decreto 1594: 9,0 UND. En algunos puntos los niveles son próximos a los límites de las normas lo cual hace que haya un posible taponamiento de los elementos de irrigación y restringiere su uso para riego.



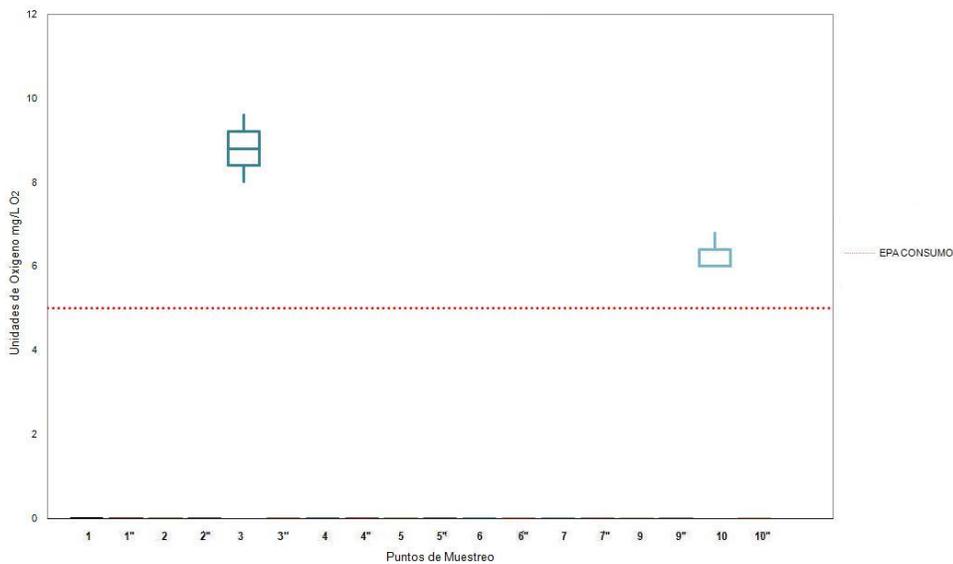
**Gráfico 31. Comparación de resultados de concentraciones de pH con respecto la norma decreto 1594 para consumo (COL CONSUMO en leyenda), EPA (EPA CONSUMO en leyenda), CE (CE CONSUMO en leyenda), EPA para baños (EPA BAÑOS en leyenda decreto 1594 para riego (COL RIEGO en leyenda), EPA para riego (EPA RIEGO en leyenda), EPA para lavado (EPA LAVADO en leyenda) y decreto 1594 para fuentes (COL FUENTES en leyenda)**

Los resultados obtenidos para el contenido de Nitrógeno Total orgánico kjeldahl en todos los puntos de muestreo se ven en el Gráfico 32. Estos resultados sugieren que el agua lluvia es apta para consumo, baños, riego, lavado y fuentes en el punto 7, ya que sobrepasan el límite máximo de la norma para consumo CE: 1,0 mg/L, los otros puntos no cumplen con la norma ya que sus valores superan el límite máximo permitido y esto podría causar una eutroficación del agua.



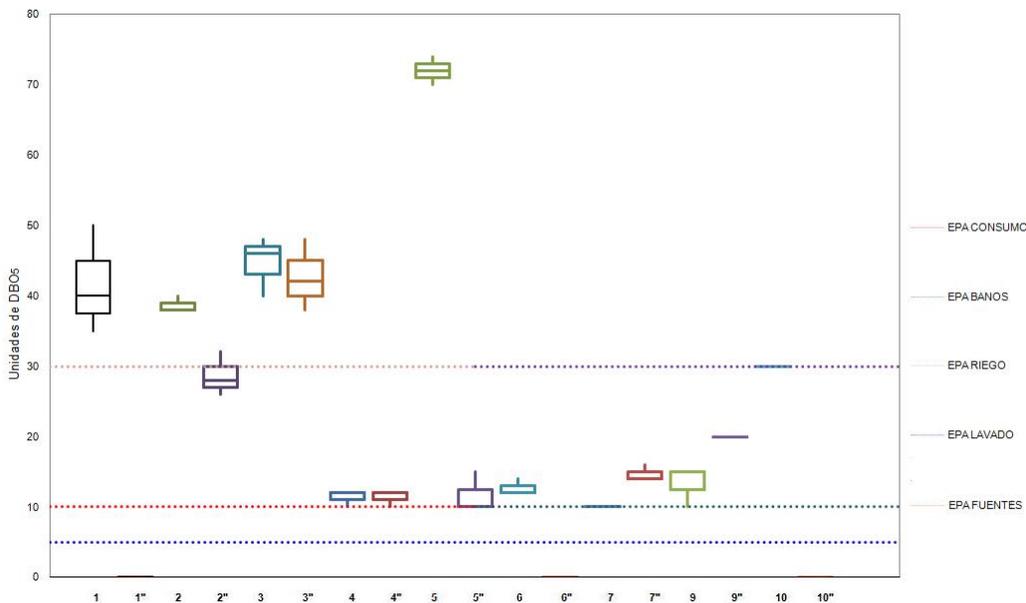
**Gráfico 32. Comparación de resultados de concentraciones de NTK con respecto la norma para consumo CE (CE CONSUMO en leyenda)**

Los resultados obtenidos para el contenido de oxígeno disuelto en todos los puntos de muestreo se ven en el Gráfico 33. Estos resultados sugieren que el agua lluvia no es apta para consumo, baños, riego, lavado y fuentes en los puntos 3 y 10 donde se realizó dicho ensayo, ya que sobre pasan el límite máximo de las normas para consumo EPA: 5,0 mg/L.



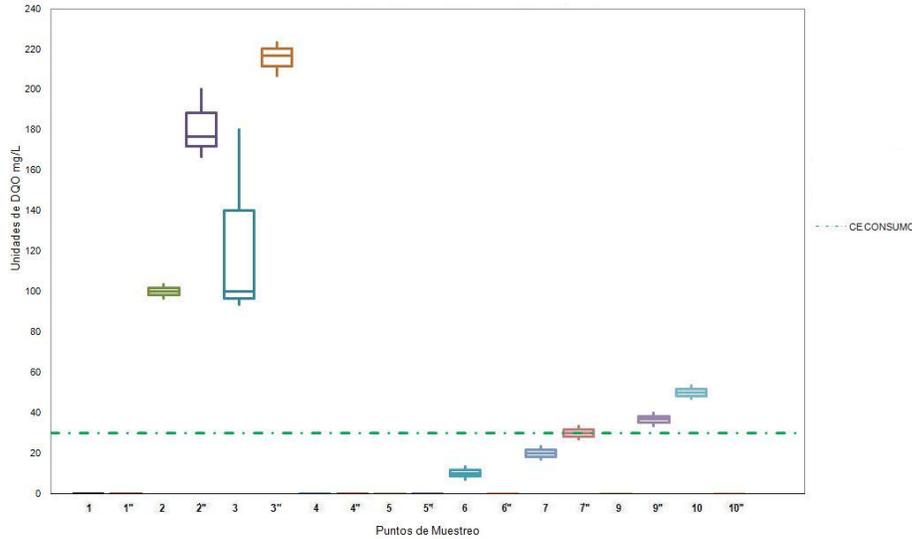
**Gráfico 33. Comparación de resultados de concentraciones de Oxígeno Disuelto con respecto la norma para consumo EPA (EPA CONSUMO en leyenda)**

Los resultados obtenidos para el contenido de  $DBO_5$  en todos los puntos de muestreo se ven en el Gráfico 34. Estos resultados sugieren que el agua lluvia es apta para consumo y baños en los puntos 5" y 7 con la probabilidad de que no cumplan los estándares de la norma debido a su proximidad al límite máximo de las normas para consumo EPA: 10 mg/L, y baños EPA: 10 mg/L, por otro lado para los usos de riego y paisajismo se tienen los puntos 2", 4, 4", 5", 6, 6", 7, 7", 9, 9", 10 y 10" ya que no superan el límite máximo de las normas para riego EPA: 30 mg/L, y paisajismo EPA: 30 mg/L, adicionalmente para el uso de lavado ningún punto sirve ya que no cumple la norma lavado EPA: 5,0 mg/L.



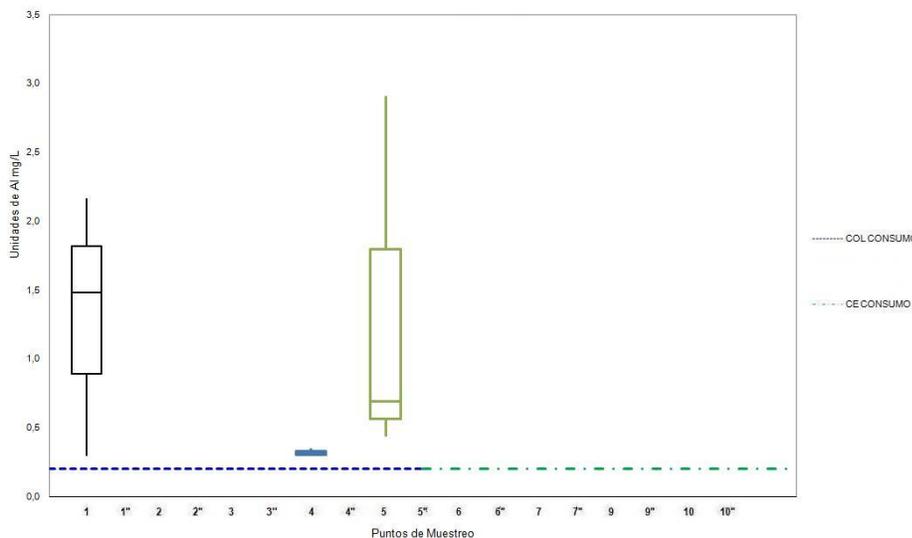
**Gráfico 34. Comparación de resultados de concentraciones de  $DBO_5$  con respecto a la norma para consumo EPA (EPA CONSUMO en leyenda, EPA para baños (EPA BAÑOS en leyenda), EPA para riego (EPA RIEGO en leyenda), EPA para lavado (EPA LAVADO en leyenda) y EPA para fuentes (EPA FUENTES en leyenda)**

Los resultados obtenidos para el contenido de DQO en todos los puntos de muestreo se ven en el Gráfico 35. Estos resultados sugieren que el agua lluvia es apta para consumo, baños, riego, lavado y fuentes en los puntos 6, 6", 7, 7", ya que no sobrepasan el límite máximo de la norma para consumo CE: 30 mg/L, entonces los puntos 2, 2", 3, 3", 9 y 9" no cumple la norma en mención.



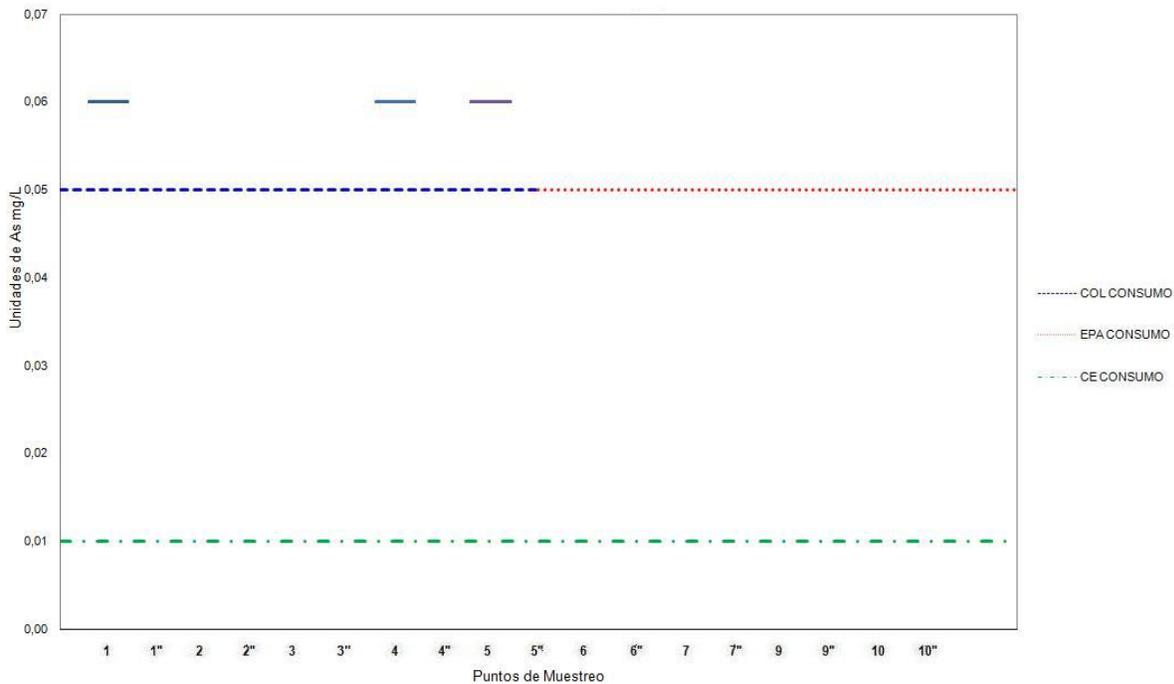
**Gráfico 35. Comparación de resultados de concentraciones de DQO con respecto la norma para consumo CE (CE CONSUMO en leyenda)**

Los resultados obtenidos para el contenido de aluminio en los puntos 1, 4 y 5 de muestreo se ven en el Gráfico 36. Estos resultados sugieren que el agua lluvia no es apta para consumo, baños, riego, lavado y fuentes, ya que sobrepasan los límites máximos de las normas para consumo del decreto 1594: 0,2 mg/L y CE: 0,2 mg/L, por otro lado en los otros puntos no se realizó este ensayo.



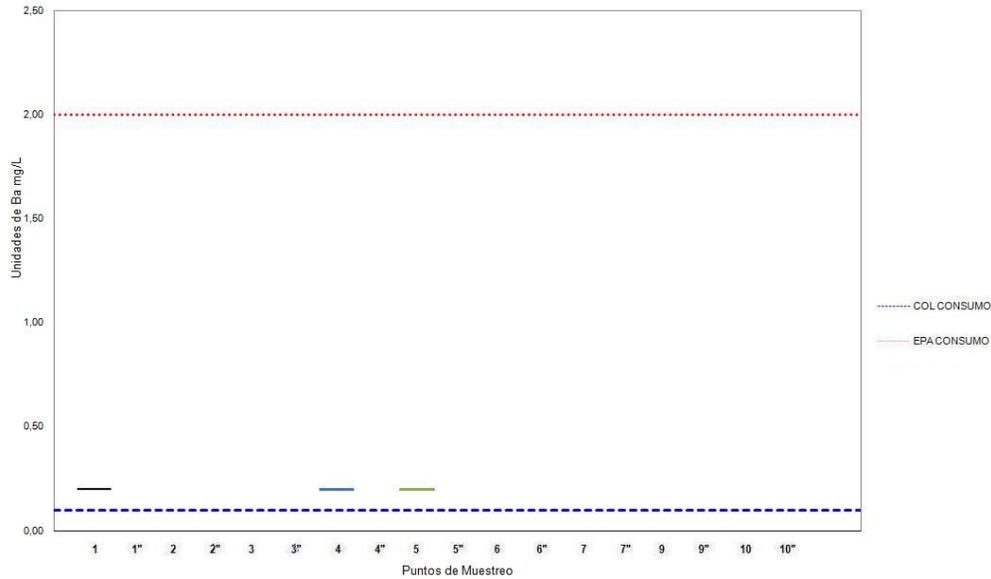
**Gráfico 36. Comparación de resultados de concentraciones de Aluminio con respecto la norma para consumo decreto 1594 para consumo (COL CONSUMO en leyenda) y CE (CE CONSUMO en leyenda)**

Los resultados obtenidos para el contenido de arsénico en los puntos 1, 4 y 5 de muestreo se ven en el Gráfico 37. Estos resultados sugieren que el agua lluvia no es apta para consumo, baños, riego, lavado y fuentes, ya que sobrepasan los límites máximos de las normas para consumo del decreto 1594: 0,05 mg/L, EPA: 0,05mg/L y CE: 0,01 mg/L, por otro lado en los otros puntos no se realizó este ensayo.



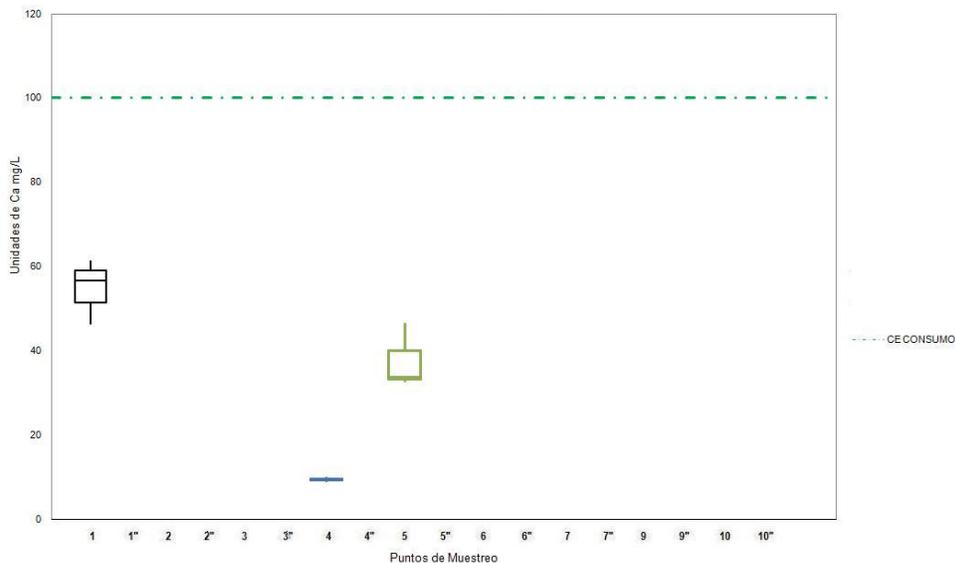
**Gráfico 37. Comparación de resultados de concentraciones de Arsénico con respecto a la norma para consumo decreto 1594 para consumo (COL CONSUMO en leyenda), EPA (EPA CONSUMO en leyenda) y CE (CE CONSUMO en leyenda)**

Los resultados obtenidos de bario en los puntos 1, 4 y 5 de muestreo se ven en el Gráfico 38. Estos resultados sugieren que el agua lluvia no es apta para consumo, baños, riego, lavado y fuentes, ya que sobrepasan el límite máximo de la norma para consumo del decreto 1594: 0,1 mg/L, si se tiene en cuenta la norma para consumo EPA: 2,0 mg/L, el agua lluvia es apta para todos los usos requeridos; por otro lado en los otros puntos no se realizó este ensayo.



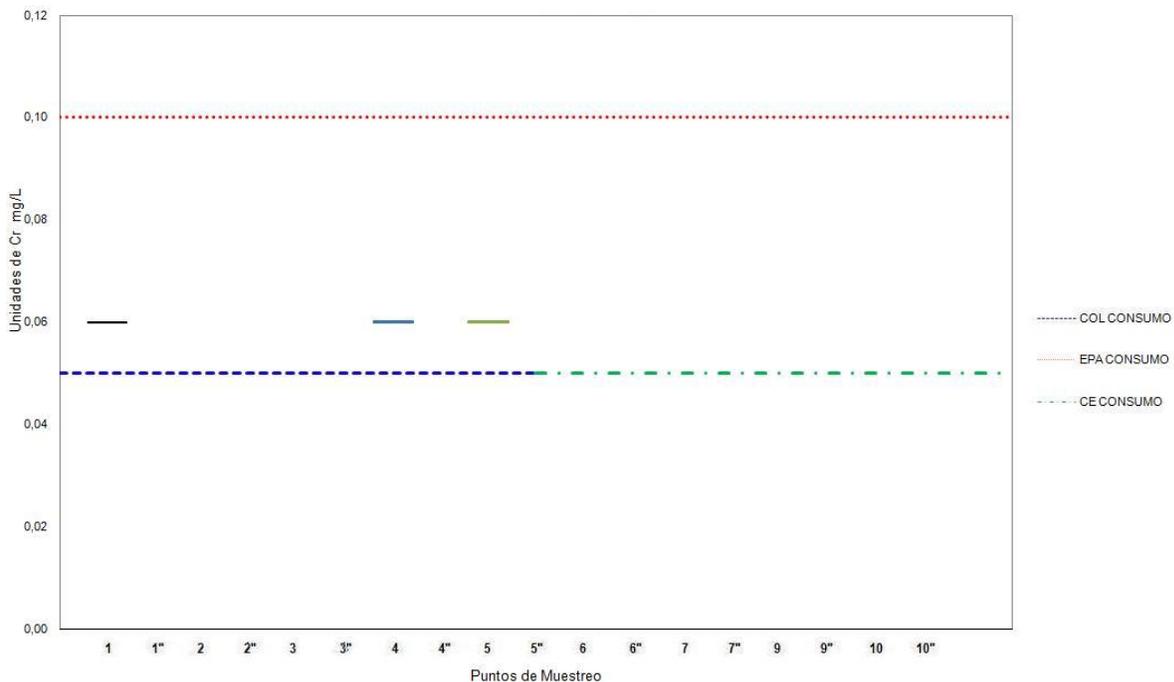
**Gráfico 38. Comparación de resultados de concentraciones de Bario con respecto a la norma para consumo decreto 1594 para consumo (COL CONSUMO en leyenda) y EPA (EPA CONSUMO en leyenda)**

Los resultados obtenidos para el contenido de calcio en los puntos 1, 4 y 5 de muestreo se ven en el Gráfico 39. Estos resultados sugieren que el agua lluvia es apta para consumo, baños, riego, lavado y fuentes, ya que no sobrepasa el límite máximo de la norma para consumo CE: 100 mg/L; por otro lado en los otros puntos no se realizó este ensayo.



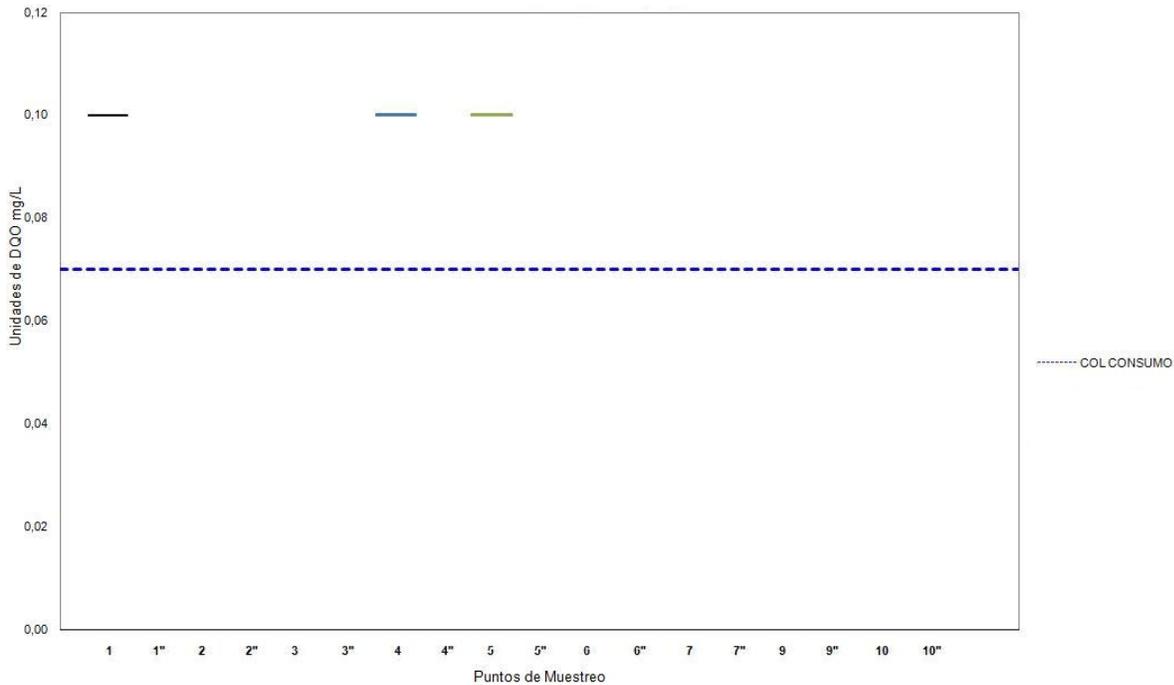
**Gráfico 39. Comparación de resultados de concentraciones de Calcio con respecto a la norma para consumo CE (CE CONSUMO en leyenda)**

Los resultados obtenidos para el contenido de cromo en los puntos 1, 4 y 5 de muestreo se ven en el Gráfico 40. Estos resultados sugieren que el agua lluvia no es apta para consumo, baños, riego, lavado y fuentes, ya que sobrepasan los límites máximos de la normas para consumo del decreto 1594: 0,05 mg/L y CE: 0,05 mg/L, adicionalmente sí se tiene en cuenta la norma para consumo EPA: 0,1 mg/L, el agua lluvia es apta para los usos de consumo, riego, baños, lavado, fuentes, por otro lado en los otros puntos no se realizó este ensayo.



**Gráfico 40. Comparación de resultados de concentraciones de Cromo con respecto a la norma para consumo decreto 1594 (COL CONSUMO en leyenda), EPA (EPA CONSUMO en leyenda) y CE (CE CONSUMO en leyenda)**

Los resultados obtenidos para el contenido de molibdeno en los puntos 1, 4 y 5 de muestreo se ven en el Gráfico 41. Estos resultados sugieren que el agua lluvia no es apta para consumo, baños, riego, lavado y fuentes, ya que sobrepasa el límite máximo de la norma para consumo CE: 100 mg/L; por otro lado en los otros puntos no se realizó este ensayo.



**Gráfico 41. Comparación de resultados de concentraciones de Molibdeno con respecto a la norma para consumo decreto 1594 (COL CONSUMO en leyenda)**

En los resultados microbiológicos para el punto 10 (Sumidero frente al edificio Manuel Briceño), se detectó una contaminación bacteriológica (Coliformes Fecales: 240 UFC/ 100 ml, Escherichia Coli: 170 UFC/ 100 ml) la cual no es muy elevada, pero impide el uso del agua dentro del campus para la eventual descarga de sanitarios u orinales en la cual la presencia de Coliformes Totales según la norma para baños EPA: de ser no detectado.

Por otro lado los resultados obtenidos de compuestos volátiles (Anexo G) realizados por ANTEK S.A. para el punto 1 (Dren principal de la cancha de fútbol) en la campaña # 1, demuestra que las partículas de caucho que representan la tierra en la cancha de fútbol sintética, no hace lixiviación de compuestos orgánicos obteniendo un agua de buena calidad por no tener presencia de sustancias tóxicas.

Adicionalmente, los resultados obtenidos de grasas y aceites (Anexo H) realizados por el laboratorio AMALQUIN LTDA para el punto 1 (Dren principal de la cancha de fútbol) en la campaña # 1, punto 4 (Ed. Don Guillermo Castro descarga directa de la cubierta)

en la campaña # 2 y punto 5 (Ed. Don Guillermo Castro, sumidero del sótano de parqueaderos) en la campaña # 2, los resultados comprueban que el agua lluvia no tiene presencia de grasas y aceites; debido a que los puntos que se muestrearon están ubicados en el edificio de parqueaderos haciendo pensar en la presencia de estas sustancias.

En resumen los resultados de los ensayos realizados en los puntos de muestreo, que no cumplen con los estándares mínimos de calidad para diferentes usos, se presentan en las Tablas 29 a 37, las cuales presentan los valores promedio y los valores de incertidumbre sobre dicho promedio con una confiabilidad del 95 %.

Los resultados obtenidos en el punto 1 (Tabla 29) sugieren que el agua lluvia en este punto no es apta para ninguno de los usos del campus universitario, en particular debido a que se presentan altas concentraciones en SST y DBO<sub>5</sub>: superiores a 30 mg/L, el cual es un valor límite recomendado para los usos menos restrictivos - riego agrícola superficial o usos ornamentales - (U.S. EPA, 2004). Se presentan además altas concentraciones de Hierro (Fe) y Cadmio (Cd): superiores a 0.1 mg/L y 0.01 mg/L respectivamente, los cuales son valores límites recomendados para los usos menos restrictivos como el riego (Ministerio de Salud República de Colombia, 1984; U.S. EPA, 2004) y en particular si se quiere evitar el taponamiento de elementos de irrigación (Gilbert *et al.*, 1982; Pescod, 1992; Lazarova *et al.*, 2004). En este punto se detectaron además valores un poco elevados de pH, superiores a 7 unidades, lo cual restringe su uso para riego debido a un posible taponamiento de los elementos de irrigación (Gilbert *et al.*, 1982; Pescod, 1992; Lazarova *et al.*, 2004).

**Tabla 29. Resultados punto 1, que no cumplen con estándares de calidad (CP: cumple parámetro)**

PUNTO 1 DREN PRINCIPAL DEL CAMPO DE FUTBOL				
	CAMPAÑA # 1		CAMPAÑA # 2	
Fecha:	FEB - 26 - 2010		NOV - 12 - 2009	
Hora:	11:12:00 a.m.		03:12:00 p.m.	
Parámetro	Resultado promedio	Incertidumbre (% sobre el promedio)	Resultado promedio	Incertidumbre (% sobre el promedio)
pH	8,8 und	0,1 %	7,21 und	0,1 %
SST	675 mg/L	61,8 %	CP	CP
Pb	78,1 µg/L	57,3 %	CP	CP
Fe	138,2 µg/L	13,1 %	270,9 µg/L	1,2 %
Cd	19,3 µg/L	47,8 %	CP	CP
Ni	CP	CP	281,0 µg/L	31,3 %
Hg	203,8 µg/L	0,6 %	CP	CP
DBO <sub>5</sub>	41,6 mg/L	18,3 %	CP	CP

Los resultados obtenidos en el punto 2 (Tabla 30) sugieren que el agua lluvia en este punto no es apta para ninguno de los usos del campus universitario, en particular debido a que se presentan altas concentraciones en SST y DBO<sub>5</sub>: superiores a 30 mg/L, el cual es un valor límite recomendado para los usos menos restrictivos - riego agrícola superficial o usos ornamentales - (U.S. EPA, 2004). Adicionalmente, la turbiedad del agua muestreada es demasiado alta: superior a 5 NTU, el cual es un valor límite recomendado para los usos menos restrictivos - riego no agrícola o lavado de automóviles - (U.S. EPA, 2004). Se presentan además altas concentraciones de Hierro (Fe) y Níquel (Ni): superiores a 0.1 mg/L y 0.01 mg/L respectivamente, los cuales son valores límites recomendados para los usos menos restrictivos como el riego (Ministerio de Salud República de Colombia, 1984; U.S. EPA, 2004) y en particular si se quiere evitar el taponamiento de elementos de irrigación (Gilbert *et al.*, 1982; Pescod, 1992; Lazarova *et al.*, 2004). Además, se detectó una concentración de Nitrógeno amoniacal bastante por encima de 1.0 mg/L, el cual es un valor límite recomendado para consumo humano (Ministerio de Salud República de Colombia, 1984).

**Tabla 30. Resultados punto 2, que no cumplen con estándares de calidad (CP: cumple parámetro)**

PUNTO 2 CANAL NOR-ORIENTAL DEL CAMPO DE FUTBOL				
	CAMPAÑA # 1		CAMPAÑA # 2	
Fecha:	SEP - 27 - 2010		OCT - 04 - 2010	
Hora:	03:30:00 p.m.		12:30:00 p.m.	
Parámetro	Resultado promedio	Incertidumbre (% sobre el promedio)	Resultado promedio	Incertidumbre (% sobre el promedio)
SST	181,6 mg/L	2,8 %	870 mg/L	0,9 %
Color Verdadero	188 UPC	1,1 %	97,6 UPC	2,6 %
Turbidez	29,7 UNT	2,2 %	42,4 UNT	0,2 %
Fe	42,0 µg/L	388, 1%	451,0 µg/L	2,8 %
Ni	657,3 µg/L	33,9 %	1685,1 µg/L	8,1 %
N-NH <sub>4</sub>	6,7 mg/L	18,8 %	4,48 mg/L	19,1 %
DBO <sub>5</sub>	38 mg/L	0,0 %	CP	CP

Los resultados obtenidos en el punto 3 (Tabla 31) sugieren que el agua lluvia en este punto no es apta para ninguno de los usos del campus universitario, en particular debido a que se presentan altas concentraciones en SST y DBO<sub>5</sub>: superiores a 30 mg/L, el cual es un valor límite recomendado para los usos menos restrictivos - riego agrícola superficial o usos ornamentales - (U.S. EPA, 2004). Adicionalmente, la turbiedad del agua muestreada es demasiado alta: superior a 5 NTU, el cual es un valor límite recomendado para los usos menos restrictivos - riego no agrícola o lavado de automóviles - (U.S. EPA, 2004). Se presentan además altas concentraciones de Hierro (Fe) y Cadmio (Cd): superiores a 0.1 mg/L y 0.01 mg/L respectivamente, los cuales son valores límites recomendados para los usos menos restrictivos como el riego (Ministerio de Salud República de Colombia, 1984; U.S. EPA, 2004) y en particular si se quiere evitar el taponamiento de elementos de irrigación (Gilbert *et al.*, 1982; Pescod, 1992; Lazarova *et al.*, 2004). Adicionalmente, la concentración de Níquel (Ni): superior a 20 µg/L, el cual es un valor límite para consumo humano (EU, 1998). Además, se detectó una concentración de Nitrógeno amoniacal bastante por encima de 1.0 mg/L, el cual es un valor límite recomendado para consumo humano (Ministerio de Salud República de Colombia, 1984). En este punto se detectaron además valores un poco elevados de pH, superiores a 7 unidades, lo cual restringe su uso para riego

debido a un posible taponamiento de los elementos de irrigación (Gilbert *et al.*, 1982; Pescod, 1992; Lazarova *et al.*, 2004).

**Tabla 31. Resultados punto 3, que no cumplen con estándares de calidad (CP: cumple parámetro)**

PUNTO 3 CANAL SUR-ORIENTAL DEL CAMPO DE FUTBOL				
	CAMPAÑA # 1		CAMPAÑA # 2	
Fecha:	JUN - 05 - 2009		SEP - 27 - 2010	
Hora:	03:30:00 p.m.		12:30:00 p.m.	
Parámetro	Resultado promedio	Incertidumbre (% sobre el promedio)	Resultado promedio	Incertidumbre (% sobre el promedio)
pH	8.46 und	0.4 %	CP	CP
SST	171.1 mg/L	9 %	358,3 mg/L	3,60 %
Color Verdadero	75 UPC	0.004 %	191,3 UPC	2,20 %
Turbidez	72.43 UNT	5 %	35,3 UNT	2,40 %
Fe	677.6 µg/L	3 %	273,1 µg/L	5,70 %
Cd	78.4 µg/L	48 %	CP	CP
Ni	CP	CP	663,1 µg/L	81,30 %
N-NH <sub>4</sub>	4.48 mg/L	18 %	5,6 mg/L	15,70 %
DBO <sub>5</sub>	42.7 mg/L	12 %	44,7 mg/L	9,30 %

Los resultados obtenidos en el punto 4 (Tabla 32) sugieren que el agua lluvia en este punto podría utilizarse directamente en el lavado de pisos y fachadas y usos ornamentales. Los otros usos no son posibles en particular debido a altas concentraciones en DBO<sub>5</sub>, ya que el valor promedio obtenido es 12 mg/L y la utilización para descarga de sanitarios y orinales, para usos recreativos con contacto primario, riego no agrícola y agrícola por aspersión y lavado de automóviles está restringida a un valor máximo de 10 mg/L (U.S. EPA, 2004). Otro parámetro que restringe varios usos, en particular el riego y el consumo humano, es la concentración en Hierro (Fe), ya que el valor promedio obtenido es de 0.31 mg/L y la utilización para riego se restringe a un valor máximo de 0.10 mg/L para evitar el taponamiento de los elementos de irrigación (Gilbert *et al.*, 1982; Pescod, 1992; Lazarova *et al.*, 2004) y la utilización para consumo humano se restringe a un valor máximo de 0.20 mg/L (EU, 1998). Se observan también concentraciones elevadas de Cadmio (Cd) y Mercurio (Hg) con respecto a los estándares de calidad para riego agrícola y consumo humano (Cd debe ser inferior a

0.01 mg/L y Hg debe ser inferior a 0.001 mg/L según Ministerio de Salud República de Colombia, 1984 y EU, 1998).

**Tabla 32. Resultados punto 4, que no cumplen con estándares de calidad (CP: cumple parámetro)**

PUNTO 4 DESCARGA DIRECTA DE LA CUBIERTA ED. PARQUEADERO				
	CAMPAÑA # 1		CAMPAÑA # 2	
Fecha:	MAR - 27 - 2009		ABR - 06 - 2010	
Hora:	01:29:00 p.m.		12:26:00 p.m.	
Parámetro	Resultado promedio	Incertidumbre (% sobre el promedio)	Resultado promedio	Incertidumbre (% sobre el promedio)
pH	6,24 und	1,8 %	8,99 und	0,1 %
SST	5 mg/L	127,6 %	18,3 mg/L	28,2 %
Pb	169.9 µg/L	85 %	CP	CP
Fe	310.5 µg/L	1 %	168,7 µg/L	5,6 %
Cd	12.0 µg/L	13 %	CP	CP
Hg	126.8 µg/L	20 %	CP	CP
DBO <sub>5</sub>	12 mg/L	0.03 %	12 mg/L	0,03 %

Los resultados obtenidos en el punto 5 (Tabla 33) sugieren que el agua lluvia en este punto no es apta para ninguno de los usos del campus universitario, en particular debido a que se presentan altas concentraciones en SST y DBO<sub>5</sub>: superiores a 30 mg/L, el cual es un valor límite recomendado para los usos menos restrictivos - riego agrícola superficial o usos fuentes - (U.S. EPA, 2004). Adicionalmente, se presentan altas concentraciones de Hierro (Fe) y Cadmio (Cd): superiores a 0.1 mg/L, el cual es un valor límite recomendado para los usos menos restrictivos como el riego (Ministerio de Salud República de Colombia, 1984; U.S. EPA, 2004) y en particular si se quiere evitar el taponamiento de elementos de irrigación (Gilbert *et al.*, 1982; Pescod, 1992; Lazarova *et al.*, 2004). En este punto se detectaron además valores de concentraciones en Mercurio (Hg), lo cual restringe su uso tanto para riego agrícola (U.S. EPA, 2004) como para consumo humano (Ministerio de Salud República de Colombia, 1984; EU, 1998).

**Tabla 33. Resultados punto 5, que no cumplen con estándares de calidad (CP: cumple parámetro)**

PUNTO 5 CAJA RECOLECTORA SOTANO DEL ED. PARQUEADERO				
	CAMPAÑA # 1		CAMPAÑA # 2	
Fecha:	MAR - 27 - 2009		ABR - 06 - 2010	
Hora:	01:29:00 p.m.		12:26:00 p.m.	
Parámetro	Resultado promedio	Incertidumbre (% sobre el promedio)	Resultado promedio	Incertidumbre (% sobre el promedio)
pH	6 und	0,2 %	9,18 und	0,2 %
SST	40 mg/L	18 %	47,5 mg/L	10,5 %
Pb	167.3 µg/L	7 %	CP	CP
Fe	458.5 µg/L	2 %	404,6 µg/L	2,1 %
Cd	19.3 µg/L	16 %	CP	CP
Hg	150.7 µg/L	43 %	CP	CP
DBO <sub>5</sub>	72 mg/L	3 %	10 mg/L	0,0 %

Los resultados obtenidos en el punto 6 (Tabla 34) sugieren que el agua lluvia en este punto no es apta para ninguno de los usos del campus universitario, en particular debido a que se presentan altas concentraciones en SST y DBO<sub>5</sub>: superiores a 30 mg/L, el cual es un valor límite recomendado para los usos menos restrictivos - riego agrícola superficial o usos fuentes - (U.S. EPA, 2004). Adicionalmente, la turbiedad del agua muestreada es demasiado alta: superior a 5 NTU, el cual es un valor límite recomendado para los usos menos restrictivos - riego no agrícola o lavado de automóviles - (U.S. EPA, 2004). También, se presentan altas concentraciones de Hierro (Fe): superiores a 0.1 mg/L, el cual es un valor límite recomendado para los usos menos restrictivos como el riego (Ministerio de Salud República de Colombia, 1984; U.S. EPA, 2004) y en particular si se quiere evitar el taponamiento de elementos de irrigación (Gilbert *et al.*, 1982; Pescod, 1992; Lazarova *et al.*, 2004). Tiene una concentración de Níquel (Ni): superior a 20 µg/L, el cual es un valor límite para consumo humano (EU, 1998). Además, se detectó una concentración de Nitrógeno amoniacal bastante por encima de 1.0 mg/L, el cual es un valor límite recomendado para consumo humano (Ministerio de Salud República de Colombia, 1984).

**Tabla 34. Resultados punto 6, que no cumplen con estándares de calidad (CP: cumple parámetro)**

PUNTO 6 CUBIERTA FACULTAD DE INGENIERIA				
	CAMPAÑA # 1		CAMPAÑA # 2	
Fecha:	AGO - 25 - 2010		SEP - 27 - 2010	
Hora:	03:15:00 p.m.		02:15:00 p.m.	
Parámetro	Resultado promedio	Incertidumbre (% sobre el promedio)	Resultado promedio	Incertidumbre (% sobre el promedio)
SST	38,6 mg/L	5,4 %	35 mg/L	5,7 %
Color Verdadero	32,3 UPC	6,4 %	27,6 UPC	9,1 %
Fe	CP	CP	168,2 µg/L	5,5 %
Ni	262,8 µg/L	135,1 %	988,3 µg/L	29,8 %
N-NH <sub>4</sub>	5,41 mg/L	19,8 %	5,60 mg/L	15,6 %
DBO <sub>5</sub>	12 mg/L	0,0 %	CP	CP

Los resultados obtenidos en el punto 7 (Tabla 35) sugieren que el agua lluvia en este punto no es apta para ninguno de los usos del campus universitario, en particular debido a que se presentan altas concentraciones en SST, superiores a 5 mg/L para SST, el cual es un valor límite recomendado para usos como descarga de sanitarios u orinales, duchas, riego y lavado de automóviles (U.S. EPA, 2004). Se presentan además altas concentraciones de Hierro (Fe) y Cadmio (Cd): superiores a 0.1 mg/L y 0.01 mg/L respectivamente, los cuales son valores límites recomendados para los usos menos restrictivos como el riego (Ministerio de Salud República de Colombia, 1984; U.S. EPA, 2004) y en particular si se quiere evitar el taponamiento de elementos de irrigación (Gilbert *et al.*, 1982; Pescod, 1992; Lazarova *et al.*, 2004). Tiene una concentración de Níquel (Ni): superior a 20 µg/L, el cual es un valor límite para consumo humano (EU, 1998). Además, se detectó una concentración de Nitrógeno amoniacal bastante por encima de 1.0 mg/L, el cual es un valor límite recomendado para consumo humano (Ministerio de Salud República de Colombia, 1984).

**Tabla 35. Resultados punto 7, que no cumplen con estándares de calidad (CP: cumple parámetro)**

PUNTO 7 CUBIERTA ED. FERNANDO BARON				
	CAMPAÑA # 1		CAMPAÑA # 2	
Fecha:	SEP - 15 - 2009		AGO - 25 - 2010	
Hora:	03:15:00 p.m.		02:15:00 p.m.	
Parámetro	Resultado promedio	Incertidumbre (% sobre el promedio)	Resultado promedio	Incertidumbre (% sobre el promedio)
SST	40 mg/L	6,4 %	35,5 mg/L	9,6 %
Color Verdadero	20 UPC	0,0 %	35,0 UPC	0,0 %
Fe	132.0 µg/L	3 %	3423,1 µg/L	8,0 %
Cd	41.2 µg/L	36 %	CP	CP
Ni	11.3 µg/L	71 %	17,1 µg/L	12,5 %
N-NH <sub>4</sub>	2,98 mg/L	25,5 %	2,98 mg/L	25,5 %
DBO <sub>5</sub>	10 mg/L	0,0 %	14 mg/L	0,0 %

Los resultados obtenidos en el punto 9 (Tabla 36) sugieren que el agua lluvia en este punto no es apta para ninguno de los usos del campus universitario, en particular debido a que se presentan altas concentraciones en SST, superiores a 5 mg/L para SST, el cual es un valor límite recomendado para usos como descarga de sanitarios u orinales, duchas, riego y lavado de automóviles (U.S. EPA, 2004). Se presentan además altas concentraciones de Hierro (Fe): superiores a 0.1 mg/L respectivamente, los cuales son valores límites recomendados para los usos menos restrictivos como el riego (Ministerio de Salud República de Colombia, 1984; U.S. EPA, 2004) y en particular si se quiere evitar el taponamiento de elementos de irrigación (Gilbert *et al.*, 1982; Pescod, 1992; Lazarova *et al.*, 2004). Tiene una concentración de Níquel (Ni): superior a 20 µg/L, el cual es un valor límite para consumo humano (EU, 1998). Además, se detectó una concentración de Nitrógeno amoniacal bastante por encima de 1.0 mg/L, el cual es un valor límite recomendado para consumo humano (Ministerio de Salud República de Colombia, 1984).

**Tabla 36. Resultados punto 9, que no cumplen con estándares de calidad (CP: cumple parámetro)**

PUNTO 9 CUBIERTA ED. TALLERES DE ARQUITECTURA				
	CAMPAÑA # 1		CAMPAÑA # 2	
Fecha:	OCT - 20 - 2009		AGO - 25 - 2010	
Hora:	12:16:00 p.m.		03:25:00 p.m.	
Parámetro	Resultado promedio	Incertidumbre (% sobre el promedio)	Resultado promedio	Incertidumbre (% sobre el promedio)
SST	66,7	52,2%	60,0	7,1%
Color Verdadero	24 UPC	0,0%	40,0 UPC	0,0%
Fe	CP	CP	3521,6 µg/L	6,0%
Ni	40,7 µg/L	63,4%	12,1 µg/L	73,7%
N-NH4	CP	CP	2,99 mg/L	25,5%
DBO <sub>5</sub>	15 mg/L	0,0%	20 mg/L	0,0%

Los resultados obtenidos en el punto 10 (Tabla 37) sugieren que el agua lluvia en este punto no es apta para ninguno de los usos del campus universitario, en particular debido a que se presentan altas concentraciones en SST y DBO<sub>5</sub>: superiores a 30 mg/L para SST, el cual es un valor límite recomendado para los usos menos restrictivos - riego agrícola superficial o usos fuentess - y superiores a 10 mg/L para DBO<sub>5</sub>, el cual es un valor límite recomendado para descarga de sanitarios u orinales, agua para duchas, lavado de automóviles y riego por aspersión (U.S. EPA, 2004). Adicionalmente, la turbiedad del agua muestreada es demasiado alta: superior a 5 NTU, el cual es un valor límite recomendado para los usos menos restrictivos - riego no agrícola o lavado de automóviles - (U.S. EPA, 2004). Se presentan además altas concentraciones de Hierro (Fe) y Cadmio (Cd): superiores a 0.1 mg/L y 0.01 mg/L respectivamente, los cuales son valores límites recomendado para los usos menos restrictivos como el riego (Ministerio de Salud República de Colombia, 1984; U.S. EPA, 2004) y en particular si se quiere evitar el taponamiento de elementos de irrigación (Gilbert *et al.*, 1982; Pescod, 1992; Lazarova *et al.*, 2004). Adicionalmente, la concentración promedio de Níquel (Ni) fue de 11.3 µg/L, el cual no es un valor que restrinja su uso, sin embargo si se tiene en cuenta la incertidumbre (71 %) el valor oscilaría entre 1.3 µg/L y 21.3 µg/L con un 95 % de confiabilidad y por lo tanto habría una probabilidad que la concentración se encontrara por encima de 20 µg/L, el cual es un valor límite para

consumo humano (EU, 1998). Además, se detectó una concentración de Nitrógeno amoniacal bastante por encima de 1.0 mg/L, el cual es un valor límite recomendado para consumo humano (Ministerio de Salud República de Colombia, 1984). En este punto se detectaron además valores un poco elevados de pH, ya que son valores superiores a 7 unidades, lo cual restringe su uso para riego, ya que para valores por encima se corre el riesgo de un taponamiento de los elementos de irrigación (Gilbert *et al.*, 1982; Pescod, 1992; Lazarova *et al.*, 2004). Finalmente, en este punto de muestreo se detectó una contaminación bacteriológica (Coliformes Fecales, Escherichia Coli) que, aunque no muy elevada, impide el uso del agua dentro del campus: por ejemplo, según MLIT (2005) para descarga de sanitarios u orinales no se deben detectar Coliformes Totales y según U.S. EPA (2004) para ese mismo uso no se deben detectar Coliformes Totales.

**Tabla 37. Resultados punto 10, que no cumplen con estándares de calidad (NC: no calculada), (NA: no realizado), (CP: cumple parámetro)**

PUNTO 10 SUMIDERO FRENTE AL ED FACULTAD DE PSICOLOGIA MANUEL BRICENO JAUREGUI S.J.				
	CAMPAÑA # 1		CAMPAÑA # 2	
Fecha:	SEP - 15 - 2009		OCT - 04 - 2010	
Hora:	12:28:00 p.m.		12:30:00 p.m.	
Parámetro	Resultado promedio	Incertidumbre (% sobre el promedio)	Resultado promedio	Incertidumbre (% sobre el promedio)
SST	111.7 mg/L	7%	115 mg/L	6,2%
Color Verdadero	70 UPC	0.01 %	46,7 UPC	3,3%
Turbidez	32.55 UNT	0.3 %	5,7 UNT	1,8%
Fe	483.9 µg/L	2%	133,8 µg/L	4,1%
Cd	32.8 µg/L	12%	CP	
Ni	11.3 µg/L	71%	1663,7 µg/L	15,0%
N-NH4	5.04 mg/L	16%	4,48 mg/L	19,2%
DBO5	30.0 mg/L	0.01 %	CP	CP
Coliformes Fecales	240 UFC/100mL	NC	NA	NC
Escherichia coli	170 UFC/100mL	NC	NA	NC

Esta contaminación presente en el agua lluvia de escorrentía puede ser causada por la contaminación en cuanto a la atmosfera y otros factores, la cual se ve afectada por: el aire contaminado de algunos gases o átomos que tienen contacto con el lugar donde

escurre el agua; en cuanto a la Fauna, el campus universitario es un sitio descubierto en donde pueden llegar animales como aves e insectos que ya sea por sus deposiciones o por partículas traídas de otro lugar pueden llegar a causar grande contaminación en el agua recogida; por ultimo hay algunas plantas que pueden llegar a botar desechos inorgánicos que contribuyan a la contaminación del agua. También es importante resaltar la limpieza dentro del campus universitario, ya sea por parte de estudiantes o personal de aseo ya que el buen manejo de ciertas partículas contaminantes es crucial para evitar la contaminación del agua. Adicionalmente las cubiertas de las estructuras donde se tomaron muestras, pueden ser las causantes de la presencia de algunos contaminantes encontrados; debido a la falta de aseo y de información de los materiales utilizados en la impermeabilización de estas.

Hay que tener en cuenta las zonas aferentes, los cuadros blanco representados en la Ilustración 8 son las zonas a tener en cuenta en los puntos, debido a que pueden estar afectando directamente en la proporción de contaminantes y materia orgánica a las muestras recolectadas.



***Ilustración 8. Áreas aferentes de los puntos de muestreo***

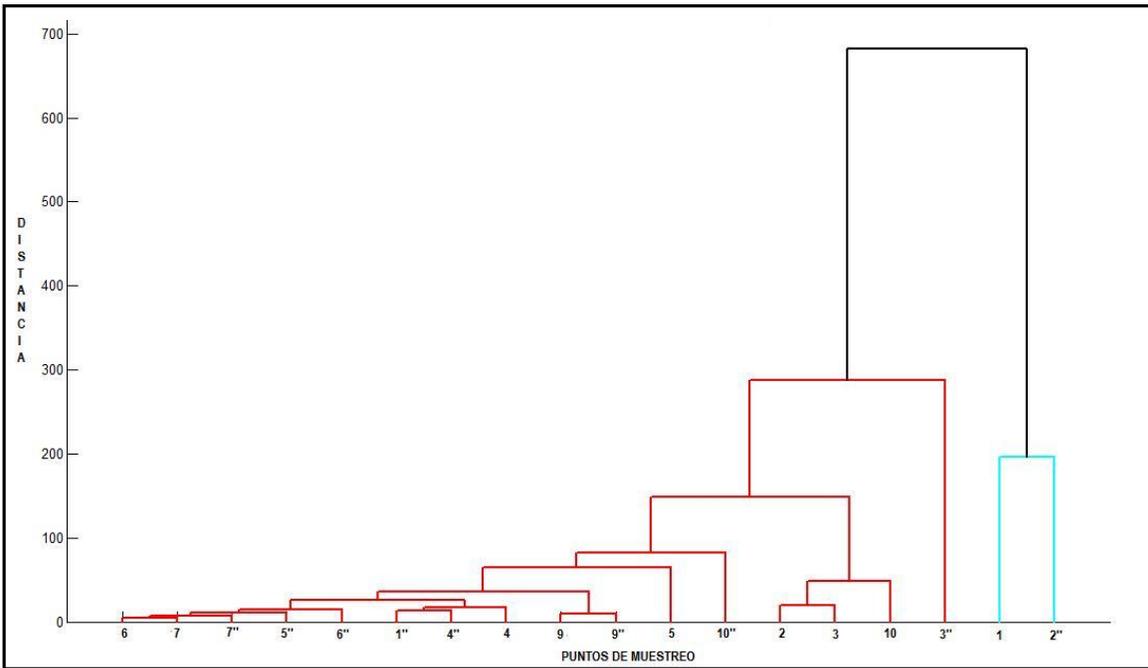
Mediante los diferentes sistemas de tratamiento que se le pueden dar al agua para optimizar los usos en el campus universitario, se podría implementar la coagulación en los puntos donde se presente mayor cantidad de sólidos suspendidos totales, turbiedad y color verdadero, para agilizar el proceso de decantación el cual es muy demorado si se realiza naturalmente. Por otra parte, se podría adicionar flocculantes para que las partículas pequeñas se agrupen y se facilite su sedimentación como los contaminantes de materia orgánica. Seguidamente se da la sedimentación en la cual se busca que las partículas flotantes se depositen por efecto gravitacional, proceso en el cual se podrían disminuir las concentraciones de sedimentos y metales pesados. Y realizando un filtrado del agua lluvia de escorrentía se realizaría la remoción de sólidos coloidales y suspendidos contenidos en el agua mediante el paso a través de lechos porosos evacuando las diferentes partículas sólidas.

#### **4.2.3 Análisis de agrupación por clúster**

El análisis de agrupación por clúster se realizó luego de hallar las incertidumbres; los datos fueron procesados haciendo uso del programa MatLab descrito en el numeral 3.5.2.2, el cual arrojó como resultado un dendrograma (Ilustración 9) con el que se logró determinar que de los dieciocho puntos ingresados, los puntos que más similitud presentan son (6 y 7), (9 y 9"), (1" y 4"), (2 y 3) y (1 y 2"); los cuales son los grupos primarios a nivel gráfico, puesto que son los que presentan menores distancias respecto del eje x, (entre más cercanas son relación de similitud respecto al eje x, la relación de igualdad es mayor, considerando los puntos similares).

En el dendrograma los valores que tengan entre sí tengan una menor distancia respecto al eje x, presentan una mayor similitud entre sí; debido a lo anterior se tienen varios puntos similares, entre los cuales están: punto 6 (Cubierta Ed. Facultad de Ingeniería) y punto 7 (Cubierta Ed. Fernando Barón); punto 9 (Cubierta Ed. Talleres de Arquitectura en la campaña #1) y punto 9 (Ed. Talleres de Arquitectura en la campaña #2); punto1 (Dren Principal de la Cancha de Futbol en la campaña #2) y punto 4 (Descarga Directa de Cubierta del Ed. de Parquaderos en la campaña #2); punto 2

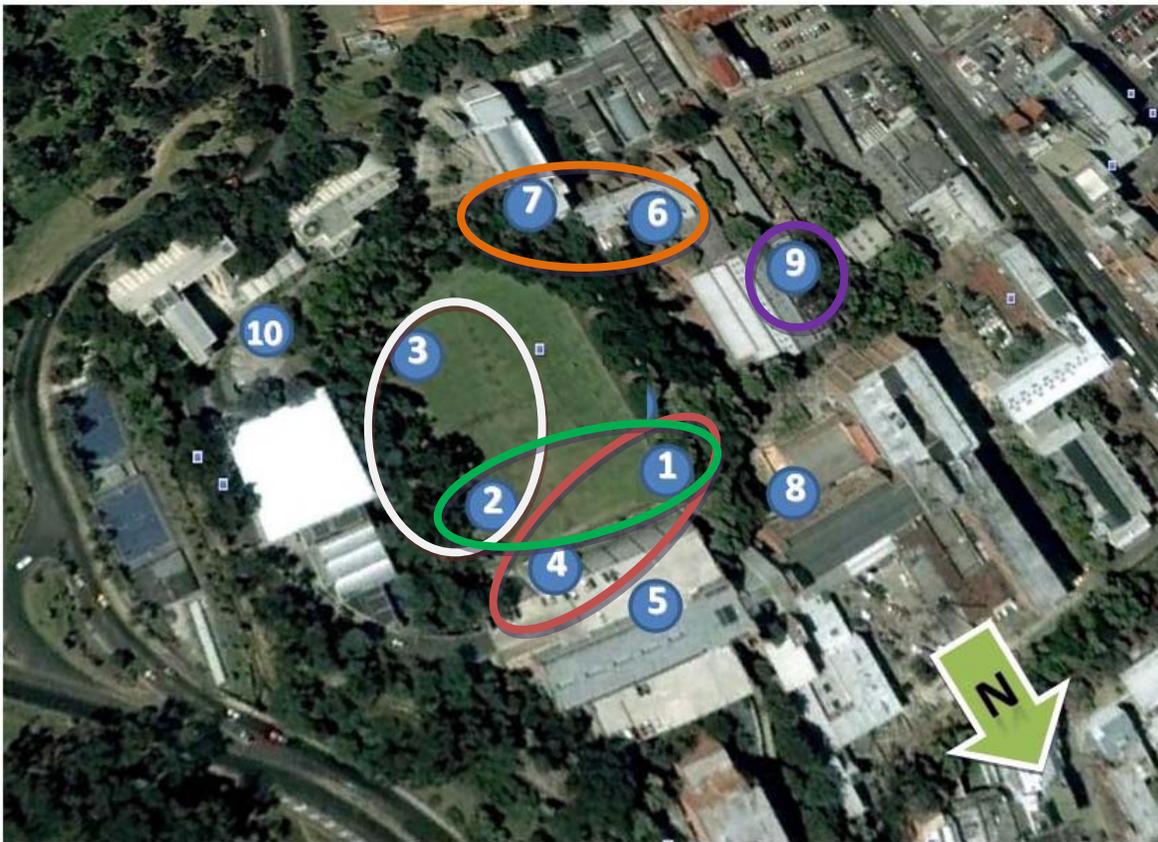
(Canal Nor-Oriental del campo de fútbol en la campaña #1) y punto 3 (Canal Sur-Oriental del campo de fútbol en la campaña #1); y el punto 1 (Dren Principal de la Cancha de Fútbol en la campaña #1) y punto 2 (Canal Nor-Oriental del campo de fútbol en la campaña #2). Dichos puntos se ordenaron de mayor a menor similitud dependiendo de las distancias al eje x.



**Ilustración 9. Dendrograma de agrupación por clúster para las dieciocho campañas realizadas**

Ubicando los puntos espacialmente en el campus PUJB (Ilustración 10) los puntos que presentan mayor similitud son: Ed. Facultad de Ingeniería (Punto 6) y Ed. Fernando Barón (Punto 7), que son las cubiertas de dichos edificios (color naranja en la Ilustración 10). Se podría llegar a deliberar en reducir a un punto, ya que presentan una alta similitud teniendo así un sólo punto de muestreo sin perder la confiabilidad de los datos al hacer esta reducción. También en los puntos 9 y 9'' del Ed. Talleres de Arquitectura (color morado en la Ilustración 10), es posible llegar a pensar en la reducción de una campaña de muestreo, por la similitud en el dendrograma de dichos puntos. Así mismo el Punto 1 (Dren principal de la cancha de fútbol en la campaña #2) y Punto 4 (Cubierta del Ed. Don Guillermo Castro en la campaña #2) (color rosado en la Ilustración 10), se encuentran ubicados espacialmente uno cerca del otro lo cual hace pensar en la reducción de uno de los puntos de muestreo. Otros puntos que

presentan una similitud son: punto 2 (Canal Nor-Oriental del campo de fútbol en la campaña #1) y punto 3 (Canal Sur-Oriental del campo de fútbol en la campaña #1) (color blanco en la Ilustración 10) están ubicados espacialmente uno cerca del otro lo cual hace pensar en la reducción de uno de los puntos de muestreo; punto 1 (Dren principal de la cancha de fútbol en la campaña #1) y punto 2 (Canal Nor-Oriental del campo de fútbol en la campaña #2) (color verde en la Ilustración 10), al estar en la cancha de fútbol se podría eliminar uno de los puntos, sin perder la confiabilidad de los resultados.



***Ilustración 10. Agrupación espacial según el dendrograma***

Estos grupos pueden presentar similitudes debido a la cercanía de cada punto a nivel espacial, además se puede pensar en los periodos secos y lluviosos que se presentaron en los diferentes muestreos. Debido a lo anterior se podría pensar en una similitud ya no de tipo espacial, sino teniendo en cuenta las condiciones climatológicas.

#### 4.2.4 Anova

El Anova se hizo teniendo en cuenta los puntos que presentaron similitud del dendrograma (Ilustración 7) utilizando las herramientas de MatLab descritas en el numeral 3.5.2.3, el cual se encargó de hacer la comparación punto a punto de todos los ensayos. El resultado arrojado por Anova permitió establecer si algunos puntos son o no iguales estadísticamente dependiendo del valor arrojado por p-value, si el p-value < 0,05 los puntos son significativamente diferentes y parecen ser similares si el valor de p-value > 0,05.

En el grupo (6 y 7) el resultado que arrojó el Anova es que estos dos puntos son significativamente diferentes porque p-value < 0.05 (Tabla 38).

**Tabla 38. Análisis Anova para los puntos 6 y 7**

TABLA ANOVA					
FUENTE	SUMA DE CUADRADOS (SS)	GRADOS DE LIBERTAD (df)	CUADRADOS MEDIOS (MS)	ESTADISTICAS (F)	VALORES P
Columna	47.89	1	47.891	382.3	0
Fila	4158.69	15	277.246	2213.19	0
Interacción	972.16	15	64.811	517.37	0
Error	8.02	64	0.125		
Total	5186.76	95			

En el grupo (9 y 9") el resultado que arrojó el Anova es que estos dos puntos parecen ser similares porque p-value > 0.05 (Tabla 39).

**Tabla 39. Análisis Anova para los puntos 9 y 9"**

TABLA ANOVA					
FUENTE	SUMA DE CUADRADOS (SS)	GRADOS DE LIBERTAD (df)	CUADRADOS MEDIOS (MS)	ESTADISTICAS (F)	VALORES P
Columna	0	1	0	0	1
Fila	24993	15	1666.2	21.89	0
Interacción	0	15	0	0	1
Error	4872.6	64	76.13		
Total	29865.6	95			

En el grupo (1" y 4") el resultado que arrojó el Anova es que estos dos puntos son significativamente diferentes porque  $p\text{-value} < 0.05$  (Tabla 40).

**Tabla 40. Análisis Anova para los puntos 1" y 4"**

TABLA ANOVA					
FUENTE	SUMA DE CUADRADOS (SS)	GRADOS DE LIBERTAD (df)	CUADRADOS MEDIOS (MS)	ESTADISTICAS (F)	VALORES P
<b>Columna</b>	7	1	7.002	8.24	0.0055
<b>Fila</b>	2444.16	15	162.944	191.87	0
<b>Interacción</b>	208.12	15	13.875	16.34	0
<b>Error</b>	54.35	64	0.849		
<b>Total</b>	2713.64	95			

En el grupo (2 y 3) el resultado que arrojó el Anova es que Estos dos puntos parecen ser similares porque  $p\text{-value} > 0.05$  (Tabla 41).

**Tablas 41. Análisis Anova para los puntos 2 y 3**

TABLA ANOVA					
FUENTE	SUMA DE CUADRADOS (SS)	GRADOS DE LIBERTAD (df)	CUADRADOS MEDIOS (MS)	ESTADISTICAS (F)	VALORES P
<b>Columna</b>	2.4	1	2.4	0.31	0.5799
<b>Fila</b>	174406.6	15	11627.1	1470.12	0
<b>Interacción</b>	157.3	15	10.5	1.33	0.2135
<b>Error</b>	506.2	64	7.9		
<b>Total</b>	175072.6	95			

En el grupo (1 y 2") el resultado que arrojó el Anova es que estos dos puntos son significativamente diferentes porque  $p\text{-value} < 0.05$  (Tabla 42).

**Tabla 42. Análisis ANOVA para los puntos 1 y 2"**

TABLA ANOVA					
FUENTE	SUMA DE CUADRADOS (SS)	GRADOS DE LIBERTAD (df)	CUADRADOS MEDIOS (MS)	ESTADISTICAS (F)	VALORES P
Columna	12065.2	1	12065.2	15.16	0.0002
Fila	2715135.2	15	181009	227.51	0
Interacción	202930.3	15	13528.7	17	0
Error	50918.9	64	795.6		
Total	2981049.5	95			

Los resultados sugieren que los puntos (6 y 7), (1" y 4") y (1 y 2") son significativamente diferentes, ya que los muestreos fueron tomados en fechas diferentes haciendo que se den como puntos diferentes. Por otro lado los puntos (9 y 9") son estadísticamente similares ya que es el mismo punto pero tomado en fechas diferentes de muestreo; y los puntos (2 y 3) son estadísticamente similares debido cercanía a nivel espacial y por presentan características similares en la naturaleza de las diferentes superficies.

#### 4.2.5 Análisis por T-Test

Se realizó el análisis de T-Test para verificar cuáles ensayos podrían ser interdependientes y estadísticamente iguales para ser excluidos sin reducir con ello la confiabilidad. Para hacer este análisis se utilizó el programa de MatLab descrito en el numeral 3.5.2.4, en el cual se aplica la metodología de T-Test para comparar uno a uno los 16 ensayos que tienen en común los puntos (6 y 7), (9 y 9"), (1" y 4"), (2 y 3) y (1 y 2"). La Tabla 35 muestra los valores de p-value y la similitud que los ensayos evaluados.

Debido a lo anterior se tendrían cinco grupos de puntos en los cuales se pueden descartar los ensayos en los cuales presentan una similitud ( $p\text{-value} > 0,05$ ) en cada grupo (ver Tabla 43).

Por ejemplo, en el grupo de puntos (6 y 7) los cuales presenta mayor número de similitudes, se podrían descartar los ensayos SST, Plomo (Pb), Plata (Ag), Níquel (Ni),

Sodio (Na), Mercurio (Hg), Zinc (Zn) y NTK; igualmente en el grupo de puntos (9 y 9") los cuales presenta varias similitudes, se podrían descartar los ensayos SST, Cadmio (Cd), Plata (Ag), Níquel (Ni), Mercurio (Hg) y NTK; en el grupo de puntos (1" y 4") los cuales varios número de similitudes, se podrían descartar los ensayos SST, Plomo (Pb), Cadmio (Cd), Mercurio (Hg) y NTK; en el grupo de puntos (2 y 3) los cuales presenta mayor número de similitudes, se podrían descartar los ensayos SST, Cadmio (Cd), Mercurio (Hg) y NTK; finalmente en el grupo de puntos (1 y 2") los cuales presenta mayor número de similitudes, se podrían descartar los ensayos SST, Cadmio (Cd), Cobre (Cu), Níquel (Ni), Manganeso (Mn), Magnesio (Mg), Mercurio (Hg), Zinc (Zn) pH y NTK. Al reducir las respectivas baterías de ensayos en estos puntos, se lograrían mejores beneficios a nivel económico y logístico en el momento del muestreo.

**Tabla 43. Resultados análisis de puntos semejantes por medio de T-Test**

PARÁMETRO	punto 6 - 7		punto 9 - 9"		punto 1" - 4"		punto 2- 3		punto 1- 2"	
	p-value	IGUALDAD	p-value	IGUALDAD	p-value	IGUALDAD	p-value	IGUALDAD	p-value	IGUALDAD
<b>FISICOS Y ORGANOLÉPTICOS</b>										
Sólidos suspendidos totales	1,47	IGUALES	0,72	IGUALES	0,49	IGUALES	0,18	IGUALES	0,00	DIFERENTES
<b>DETERMINACIÓN DE METALES</b>										
Plomo	2,00	IGUALES	0,00	DIFERENTES	1,00	IGUALES	0,04	DIFERENTES	0,02	DIFERENTES
Hierro	0,00	DIFERENTES	0,00	DIFERENTES	0,00	DIFERENTES	0,02	DIFERENTES	0,00	DIFERENTES
Cadmio	0,04	DIFERENTES	1,56	IGUALES	0,16	IGUALES	0,07	IGUALES	1,00	IGUALES
Plata	1,95	IGUALES	0,26	IGUALES	0,00	DIFERENTES	0,01	DIFERENTES	0,00	DIFERENTES
Cobre	0,00	DIFERENTES	0,01	DIFERENTES	0,01	DIFERENTES	0,00	DIFERENTES	0,26	IGUALES
Níquel	0,31	IGUALES	0,06	IGUALES	0,03	DIFERENTES	0,04	DIFERENTES	0,22	IGUALES
Manganeso	0,01	DIFERENTES	0,04	DIFERENTES	0,05	DIFERENTES	0,00	DIFERENTES	0,37	IGUALES
Sodio	2,00	IGUALES	0,00	DIFERENTES	0,00	DIFERENTES	0,00	DIFERENTES	0,02	DIFERENTES
Potasio	0,00	DIFERENTES	0,00	DIFERENTES	0,00	DIFERENTES	0,00	DIFERENTES	0,00	DIFERENTES
Magnesio	0,00	DIFERENTES	0,00	DIFERENTES	0,00	DIFERENTES	0,00	DIFERENTES	0,12	IGUALES
Mercurio	1,00	IGUALES	0,22	IGUALES	1,00	IGUALES	0,16	IGUALES	1,00	IGUALES
Zinc	0,36	IGUALES	0,02	DIFERENTES	0,00	DIFERENTES	0,00	DIFERENTES	0,09	IGUALES
<b>CONSTITUYENTES INORGÁNICOS</b>										
pH	0,00	DIFERENTES	0,00	DIFERENTES	0,00	DIFERENTES	0,00	DIFERENTES	0,13	IGUALES
NTK (mg/l)	0,61	IGUALES	1,00	IGUALES	1,00	IGUALES	1,00	IGUALES	1,00	IGUALES
<b>COMPONENTES ORGÁNICOS</b>										
Demanda bioquímica de oxígeno (DB05)	0,00	DIFERENTES	0,00	DIFERENTES	0,00	DIFERENTES	0,00	DIFERENTES	0,00	DIFERENTES

#### 4.2.6 Análisis económico

Al tener el análisis completo por medio de las incertidumbres, agrupación por clúster, Anova y por T-Test, se puede llegar a decir que para descartar ensayos o campañas y lograr una reducción en los costos de la investigación, se debe tener en cuenta principalmente el análisis de T-Test, ya que al presentar los ensayos en común con los de otros puntos, se pueden eliminar uno de los ensayos que presente igualdad entre sí, esto sería con el fin de soportar la hipótesis de generar beneficios económicos y

logísticos en el momento de realizar otros muestreos. En la Tabla 44 se presenta el presupuesto total de los ensayos que se realizaron en el laboratorio de pruebas y ensayos de calidad de aguas PUJB.

La inversión que se hizo en el laboratorio de pruebas y ensayos de calidad de aguas PUJB para todas las campañas fue de \$37'942.200 pesos M/C, por lo cual cada una de las dieciocho campañas tiene un valor de \$2.107.900 de pesos M/C en promedio.

A nivel económico es muy importante poder reducir los costos al máximo sin llegar a perder la confiabilidad en cuanto a la obtención de buenos resultados; por tal motivo si se toma en cuenta el análisis de T-Test se eliminaría un total de 31 ensayos, cada uno con un valor de \$59.546 pesos que en promedio ahorrarían la suma de \$1.845.931 pesos, lo cual es casi el valor de realizar una campaña de muestreo. Adicionalmente si no se piensan eliminar los ensayos sino se piensa hacer una reducción de costos en cuanto a los puntos de muestreo teniendo en cuenta el Anova, se podrían unir los puntos: (9 y 9") y (2 y 3) los cuales presentaron similitud en su análisis. De esta forma se reduciría un punto de muestreo representativo, disminuyendo así los costos de la investigación en siete puntos en lugar de muestrear nueve y en dinero se estaría ahorrando la suma de \$ 8.431.600 pesos M/C, lo cual es de gran importancia ya que se puede tener en cuenta dos puntos adicionales de muestreo a los reemplazados, para tener un rango más amplio en la información de la calidad del agua de escorrentía en otras estructuras de la parte alta del campus universitario.

**Tabla 44. Análisis de precios unitarios del Laboratorio sin reducciones**

ENSAYOS	VALOR	CAMPAÑAS	Nro REPETICIONES	TOTAL
<b>FISICOS Y ORGANOLÉPTICOS</b>				
Acidez total	\$ 8.000	14	3	\$ 336.000
Acidez mineral	\$ 8.000	14	3	\$ 336.000
Alcalinidad total	\$ 10.500	14	3	\$ 441.000
Alcalinidad a la fenolftaleína	\$ 9.000	14	3	\$ 378.000
Color Verdadero	\$ 5.800	14	3	\$ 243.600
Olor	\$ 8.000	14	3	\$ 336.000
Turbidez	\$ 7.600	14	3	\$ 319.200
Dureza Total	\$ 12.200	14	3	\$ 512.400
Dureza por Calcio o calcita	\$ 10.500	14	3	\$ 441.000
Dureza por magnesio	\$ 9.000	14	3	\$ 378.000
Sólidos Totales	\$ 13.300	14	3	\$ 558.600
Sólidos suspendidos totales	\$ 15.000	18	3	\$ 810.000
Sólidos Volátiles	\$ 19.200	14	3	\$ 806.400
Sólidos totales disueltos	\$ 11.500	14	3	\$ 483.000
Sólidos Sedimentables	\$ 4.000	14	3	\$ 168.000
Conductividad	\$ 8.800	14	3	\$ 369.600
Temperatura	\$ 3.100	14	3	\$ 130.200
<b>DETERMINACIÓN DE METALES</b>				
Plomo	\$ 30.800	18	3	\$ 1.663.200
Hierro	\$ 30.800	18	3	\$ 1.663.200
Cadmio	\$ 30.800	18	3	\$ 1.663.200
Plata	\$ 30.800	18	3	\$ 1.663.200
Cobre	\$ 30.800	18	3	\$ 1.663.200
Níquel	\$ 30.800	18	3	\$ 1.663.200
Manganeso	\$ 30.800	18	3	\$ 1.663.200
Sodio	\$ 30.800	18	3	\$ 1.663.200
Potasio	\$ 30.800	18	3	\$ 1.663.200
Magnesio	\$ 30.800	18	3	\$ 1.663.200
Mercurio	\$ 30.800	18	3	\$ 1.663.200
Zinc	\$ 30.800	18	3	\$ 1.663.200
<b>CONSTITUYENTES INORGÁNICOS</b>				
Cloro residual	\$ 9.900	14	3	\$ 415.800
Nitrogeno amoniacal	\$ 29.000	14	3	\$ 1.218.000
Fosforo total	\$ 37.200	14	3	\$ 1.562.400
Sulfatos	\$ 18.500	14	3	\$ 777.000
Cloruros	\$ 16.800	14	3	\$ 705.600
pH	\$ 3.000	18	3	\$ 162.000
NTK	\$ 20.700	18	3	\$ 1.117.800
Oxígeno disuelto	\$ 14.000	14	3	\$ 588.000
<b>COMPONENTES ORGÁNICOS</b>				
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	\$ 44.200	18	3	\$ 2.386.800
Demanda Química de oxígeno (DQO)	\$ 47.700	14	3	\$ 2.003.400
<b>TOTAL</b>				<b>\$ 37.942.200</b>

## **5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Este trabajo consistió en disminuir la brecha de conocimiento que existe en cuanto a la calidad del agua lluvia de escorrentía en el campus, dando continuidad a la investigación que empezó en el año 2007, la cual demostró la capacidad de oferta y demanda, para una posible utilización del agua lluvia para lavado y riego de las zonas duras y fachadas, dentro del campus universitario (Lara *et al*, 2007).

Por esta razón, el objetivo general de este trabajo consistió en estimar los posibles usos del agua lluvia de escorrentía en el campus de la Pontificia Universidad Javeriana, sede Bogotá; por medio de la realización de una serie de ensayos al agua lluvia de escorrentía captada en la zona alta de la universidad.

De los 9 puntos evaluados, teniendo en cuenta el decreto 1594 y la norma (EU, 1998), sólo cuatro (punto 1: Dren principal de la cancha de fútbol, punto 4: Cubierta del edificio de parqueaderos Don Guillermo Castro, punto 6: Cubierta de la facultad de ingeniería edificio José Gabriel Maldonado S.J., punto 7: Cubierta del edificio Fernando Barón S.J.) parecen adaptarse a algunos usos dentro del campus como el lavado de pisos y fachadas y usos ornamentales. Por otro lado si se tiene en cuenta la norma (EPA, 2004) en lugar de las normas decreto 1594 y (EU, 1998), se adaptarían los puntos mencionados anteriormente mas el punto 10 (Sumidero frente facultad de psicología edificio Manuel Briceño Jáuregui S.J.), a los usos como lavado de pisos y fachadas y usos ornamentales, ya que esta norma presenta en algunos de los parámetros un nivel más alto respecto de las otras normas en mención.

Los otros puntos evaluados presentan una calidad no apta para su utilización en ninguno de los usos previstos dentro del campus, en particular debido a altas concentraciones en Turbiedad, SST y DBO<sub>5</sub>, metales pesados como Hierro (Fe), Cadmio (Cd) y Mercurio (Hg), Fósforo (P) y Nitrógeno Amoniacal (N-NH<sub>4</sub>), principalmente.

No se ha estudiado aún el origen de dicha contaminación, sin embargo se piensa que la presencia de materia orgánica y nutrientes podría estar relacionada con posibles infiltraciones de aguas residuales en el canal que circula por la zona oriental del

campus. En cuanto a los metales, no se tiene aún una hipótesis clara sobre las posibles fuentes de contaminación. Estos aspectos deberán ser estudiados con el fin de concebir estrategias de reducción de la contaminación en la fuente.

A pesar de lo anterior, utilizando un proceso simple de decantación para reducir la concentración de SST, asumiendo que dicha disminución implica una reducción en la Turbiedad, color y en la concentración de materia orgánica, se podría obtener un agua con una calidad adecuada para lavado de pisos y fachadas (puntos 3, 5, 9 y 10), para descarga de sanitarios y orinales (puntos 4, 6, 7, 9 y 10) y para usos ornamentales y riego no agrícola (puntos 9 y 10).

Después de haber realizado este proyecto se puede concluir que el agua lluvia de escorrentía puede ser utilizada para distintos usos cotidianos, siempre y cuando se hagan los tratamientos necesarios (decantación, cloración, purificación, etc.) logrando así un beneficio económico importante, debido al ahorro de agua potable que se utilizaría para estos mismos usos, reemplazándola por el agua lluvia de escorrentía.

El presente trabajo se basó en la realización de ensayos al agua lluvia de escorrentía, pero se debería tener en cuenta la realización de una batería de ensayos para un blanco "agua lluvia", el cual serviría como referencia para comparar y tener en cuenta las diferentes fuentes de contaminación, además de la posibilidad de captar agua lluvia en los diferentes puntos de muestreo; ya que podría ser más provechoso y un trabajo más económico porque posiblemente no traiga tantos contaminantes que vienen a relucir por el sitio o lugar de escorrentía. Por esto se podría trabajar directamente con los metales encontrados en el agua capturándolos e identificándolos para buscar posibles causas de contaminación en el campus de la Pontificia Universidad Javeriana (Bogotá).

A nivel económico teniendo en cuenta los resultados del dendrograma en los cuales se presentó una similitud gráfica y espacial en los puntos (6 y 7), (9 y 9"), (1" Y 4"), (2 y 3) y (1 y 2"), se podrían comprimir estos grupos en un sólo punto de muestreo, teniendo en cuenta la similitud presentada. Por otro lado, tomando en cuenta los resultados del análisis por T-Test se podrían eliminar los ensayos de Mercurio (Hg) y NTK, debido que

para todos los puntos comparados por este método presentan un nivel de igualdad. Por lo cual, sí se redujera la batería de ensayos se obtendría un beneficio a nivel metodológico en la realización de dichos ensayos y los costos del proyecto disminuirían significativamente teniendo en cuenta la cantidad de puntos de muestreo y su realización en dos eventos lluviosos diferentes.

De la misma forma como se implementaron estos métodos de análisis para esta investigación, se podrían aplicar a diferentes estudios que requieran de una comparación a nivel estadístico, teniendo en cuenta varios parámetros de comparación. Adicionalmente, se podrán realizar nuevas deducciones sobre el comportamiento o la tendencia de los resultados e incertidumbres bajo un nivel de similitud intermuestral para las diferentes campañas, obteniendo así un valor de interdependencia más apropiado que puede incidir en la toma de decisiones para eliminar variables en eventos planificados que se realicen en el futuro.

Es importante tener en cuenta los problemas para obtener las precisiones e incertidumbres de los instrumentos y equipos, que se utilizaron para la realización de ensayos en los Laboratorios externos a la Universidad, ya que ante la falta de información se recurre a la revisión bibliográfica en cuanto a los materiales utilizados para llevar a cabo dichos ensayos, así se obtendrían errores no deseados para realizar el análisis de incertidumbres debido a la falta de información. Por otro lado, para no tener problemas de tipo logístico al momento de la recolección de agua lluvia, se recomienda hacer un estudio, diseño e instalación de instrumentos especiales para captar las respectivas muestras en los puntos de seleccionados.

Se resalta que los contaminantes presentes no necesariamente tienen que ser por causa del ser humano, hay ciertos mecanismos de la naturaleza que su finalidad es la contaminación, así como otros que se pueden evitar y otros detener. Se podría pensar además que sería bueno realizar un análisis en cuanto a los tratamientos que mejor se adaptarían para cada punto o en un centro de recolección general, para optimizar aún mejor el aprovechamiento del agua lluvia de escorrentía en el campus universitario.

Además los resultados de este estudio de calidad, sumados a estudios de oferta y demanda servirán de insumo para establecer los requerimientos de infraestructura con miras a implementar el sistema de aprovechamiento de aguas lluvias. Posteriormente se implementará un sistema de toma de decisiones con múltiples criterios (calidad, cantidad, costos, beneficios, etc.) para finalmente llevar a cabo los estudios de ingeniería de las soluciones seleccionadas.

Fomentar el aprovechamiento del agua lluvia ya que su recolección es casi gratuita, generando beneficios a nivel económico y ambiental

## 6. REFERENCIAS

- Anderson T. W. (2006). *An Introduction to Multivariate Statistical Analysis. Statistics and Economics. Stanford University* .SECOND EDITION. ED. JOHN WILEY & SONS. PP 3(113).
- Banco Mundial. (1988). Water harvesting for plant production. World Bank Technical Paper, 91.
- Ballén S., J.A., Galarza G., M.A., and Ortiz M., R.O. (2006). *Historia de los Sistemas de Aprovechamiento de Agua Lluvia. VI SEREA - Seminario Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimiento Urbano de Agua.*, 2006.
- Berry G., Armitage P. (1994). *Statistical Methods in Medical Research*. 3 rd. ed. Oxford: Blackwell Science.
- Bharat Alke, Sharma Divya, Gupta Sunil. *Facilitating Rain Water Harvesting and Storm water Management for Recharging Groundwater in Urban Areas- A Case of Bhopal Region*, Novatech, 2007.
- Canada Mortgage and Housing, "*Healthy House in Toronto*". Toronto, Canada.
- Chocat, Bernard. (1992). *La pollution due aux rejets urbains de temps de pluie*. Lyon, INSA, 1992
- Chocat B. (2006). Les préoccupations sanitaires liées aux eaux pluviales et à l'assainissement. «*Eau et Santé*», *Eaux pluviales et assainissement: nouvelles préoccupations sanitaires*. Lyon, 2006.
- Coombes, P., Argue, J., & Kuczera, G. (2000). Figtree Place: a case study in water sensitive urban development (WSUD). *Urban Water*, 1(4), 335-343.
- Coombes, P.J., Mitchell V.G. (2006). Roofwater, storm water, and wastewater reuse. In T.H.F. Wong (ed.) *Australian runoff quality*. The Institution of Engineers Australia, Sydney, Australia.
- CreusSole, Antonio (2005), *Fiabilidad y Seguridad*. España, Editorial MARCOMBO S.A, 85 pág.

Dávila Pacheco. Jesús A., Martínez. López Enrique (2007). *Propagación de incertidumbre en la conversión de algunas magnitudes de humedad*. Simposio de Metrología 25 al 27 de Octubre de 2006. Centro Nacional de Metrología, División de Termometría. Los Cués, El Márquez, Qro., México DF. Pág 6.

De Graaf R., Van der Brugge R., Lankester J., Van der Vliet W., Valkenburg L. (2007). *Local Water Resources and Urban Renewal. A Rotterdam Case Study. NOVATECH 2007, 6th International Conference on Sustainable Techniques and Strategies in Urban Water Management*. Lyon, France, 2007, p. 189-196.

Degremont.(1989), *Technique de l'eau*, Paris, Lavoisier.Pag 349.

Ellis, J.B.(1991), *Measures for the Control and Treatment of Urban Runoff Quality*, informe No. DT/PL/FV/JB, s. l., Agence de l'Eau Seine-Normandie.

Estupiñán Perdomo J.L., Zapata García H.O., (2010). *Requerimientos de Infraestructura para el Aprovechamiento Sostenible del Agua Lluvia en el Campus de la Pontificia Universidad Javeriana, sede Bogotá*. Tesis de grado para optar al título de Magíster en Ingeniería Civil. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, 3 de diciembre de 2010.

EU, (1998). Council Directive 98/83/EC (1998). Council Directive 98/83/EC of 3 November 1998 on the quality of water intended for human consumption. Official Journal of the European Communities, L330/45, 05/12/1998.

EU, (2006).Directive 2006/7/EC of the European Parliament and of the Council of 16 February 2006 Concerning the Management of Bathing Water Quality and Repealing Directive 76/160/EEC. Official Journal of the European Union L64, pp. 37–51.

Evans, C., Coombes, P., Dunstan, R., & Harrison, T. (2009). Extensive bacterial diversity indicates the potential operation of a dynamic micro-ecology within domestic rainwater storage systems. *Science of The Total Environment*, 407(19), 5206-5215.

FAO. (1994). *Manual Sobre Captación y Aprovechamiento del Agua de Lluvia*. Santiago de Chile, Chile. 201 pp.

FAO. (2000). *Manual de captación y aprovechamiento del agua de lluvia. Experiencias en América Latina y el Caribe*. Serie: Zonas áridas y semiáridas. No. 13. Santiago de Chile.

Figueras M., Salvador (2001). "Análisis de conglomerados o clúster", Universidad Computlense de Madrid. Facultad de Ciencias Aplicadas a la Estadística. Cursos virtuales. Documento en línea. <<http://www.5campus.org/leccion/cluster>> revisado en octubre 28 de 2010.

Fewkes A., Butlerd. (2000). Simulating the performance of rainwater collection and reuse systems using behavioural models. *Building Services Engineering Research & Technology*, 2000, 21 (2): 99-106.

Fletcher T.D., Mitchell V.G., Deletic A. (2007). Is Storm Water Harvesting Beneficial to Urban Waterway Environmental Flows? *Water Science & Technology*, 2007, 55 (4): 265-272.

Friedler, E. & Hadari, M. 2006 Economic feasibility of on-site grey water reuse in multi-storey buildings. *Desalination* 190(1–3), Pág 221–234.

Gardner, Ted, Coombes, Peter, Marks, Richard. (2003). "Use of Rainwater in Australian Urban Environments". *Department of Natural Resources and Mines*, Queensland, Australia. 2003. Pág. 21-31

Gilbert, R. G., F. S. Nakayama, D. A. Bucks, O. F. French, K. C. Adamson, and R. M. Johnson (1982) "Trickle Irrigation—Predominant Bacteria in Treated Colorado River Water and Biologically Clogged Emitters," *Irrig. Sci.*, 3, 2, 123–132.

Gleick, P. H. (1996). Water resources. In *Encyclopedia of Climate and Weather*, ed. by S. H. Schneider, Oxford University Press, New York, vol. 2, pp.817-823.

Glynn, Henry J y Heinke, Gary W., (1999). *Ingeniería Ambiental*. 2ª Edición. Capítulo 12, Aguas Residuales. Editorial Prentice Hall, México. Pág. 427

Gray, N. F. (1996). *Calidad del agua potable: problemas y soluciones*. Zaragoza (España): Acribia, pág 136-138.

Hatt B.E., Deletic A., Fletcher T.D. (2006). A review of integrated storm water treatment and re-use in Australia. *J. Environ. Manage.* 76:102–113.

Hatt B.E., Siriwardene N., Deletica., Fletcher T.D. (2006). Filter media for stormwater treatment and recycling: the influence of hydraulic properties of flow on pollutant removal. *Water Science and Technology*, 54(6-7), 263-271

Helmreich, B., & Horn, H. (2009). *Opportunities in rainwater harvesting. Desalination*, 248(1-3), 118-124.

Hermann, T. y Schmida, U. (1999). Rainwater utilisation in Germany: efficiency, dimensioning, hydraulic and environmental aspects. *Urban Water* 1, 307–316.

IICA (1998). *Sistemas de Captación de Agua de Lluvia en América Latina y el Caribe: Base para el Desarrollo Sustentable*. México, DF. 96 pp.

ISO 9308-1 (2002) Water quality-detection and enumeration of Escherichia coli and Coliform bacteria- Part 1: Membrane filtration method.

Krishna, Hari. (2004). "Rainwater Harvesting in Texas". Texas Water Development Board –TWDB-.Texas, Estados Unidos.

Lara B, A.J., Torres A., A.E., Campos P., M.C., Duarte C., L., Echeverri R., J.I., and Villegas G., P.A. (2007). Aprovechamiento del agua lluvia para riego y lavado de zonas duras y fachadas en el campus de la Pontificia Universidad Javeriana (Bogotá). 2007, 193-202.

Lazarova, V., I. Papadopoulos, and A. Bahri (2004) "Code of Successful Agronomic Practice," 103–150, in V. Lazarova and A. Bahri (eds.) *Water Reuse for Irrigation: Agriculture, Landscapes, and Turf Grass*, CRC Press, Boca Raton, FL.

Levy, V. y Lara, M. B. (1992). *Spéciation de métaux dans les eaux de ruissellement recueillies au cours de six orages en zone urbaine á Gradignan*, Informe LCA-Lyonnaise des Eaux-Dumez, s. l., Université de Pau et des Pays de l'Adour, 1992.

Lomelí M.G., Tamayo O.R., *Deterioro Ambiental*. Recuperado 22 de Octubre, 2010, de [http://www.sagan-gea.org/hojared\\_AGUA/paginas/15agua.html](http://www.sagan-gea.org/hojared_AGUA/paginas/15agua.html).

Malgrat, P. (1995). *Panorámica General de la Escorrentía de Aguas Pluviales como Fuente de Contaminación. Actuaciones Posibles.*, *Jornadas Técnicas sobre la Calidad de Aguas e Impacto en Medios Receptores por Vertidos Procedentes de Drenajes*

*Urbanos y Agrícolas*, Diputación Provincial, University Jaume I, Castellon, España, 1995.

*Matlab. The Language of Technical Computing. Getting Started with MATLAB version 5*. Reading: The Mathworks Inc., 1996. <<http://www.phy.ohiou.edu/computer/matlab/techdoc/pdfdocs/getstart>>revisado en octubre 23 de 2010.

McCarthy D.T. (2005). Exploring the influence of seasonality of inflow and demand on stormwater utilisation. *Catchword - Newsletter of the Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology*, 134 (February 2005), p. 11-12.

Mccarthy D., Deletic A., Mitchell V., Fletcher T., Diaper C. (2008). *Uncertainties in stormwater E. coli levels*. *Water Research*, 42 (no. 6-7): 1812-1824. DOI: 10.1016/j.watres.2007.11.009.

Marín Diazaraque, J.M. (2009). *Análisis de Cluster y Árboles de Clasificación*. Universidad Carlos III de Madrid. Departamento de Estadística. Publicaciones en línea. Madrid-España.

Meera, V., &Ahammed, M. (2006). Water quality of rooftop rainwater harvesting systems: A review. *Journal of Water Supply Research and Technology*.Pag 257-268

Mikkelsen, P. S., Adeler, O. F., Albrechtsen, H. J. &Henze, M. (1999). Collected rainwater as a water source in Danish household –what is the potential and what are the costs? *Wat.Sci.Technol.* 39(5), 49-57.

MLIT (2005) *Manual on Water Quality for Reuse of Treated Municipal Wastewater*, Japanese Ministry of Land, Infrastructure, and Transportation, Tokyo.

Ministerio de Salud República de Colombia. (1984). Decreto 1594. Usos del agua y residuos líquidos. pp. 152.

Minnaard, Claudia. (2005). *Los Gráficos de Caja: Un Recurso Innovador*. *Revista Iberoamericana de Educación* [Revista en línea], (Número 35/8).

Mitchell V.G., McMahon T.A., Mein R.G. (2003). Components of the total water balance of an urban catchment. *Environ. Manage.* 32:735–746.

Mitchell V.G., McCarthy D.T., Fletcher T.D., Deletica A. (2005). Optimising storage capacity for stormwáter utilisation. *International Conference on Urban Drainage*, Copenhagen, Denmark.

Mitchell V.G., McCarthy D.T., Deletic A., Fletcher T.D. (2008). Urban stormwater harvesting - sensitivity of a storage behaviour model. *Environmental Modelling & Software*, 23 (2008) 782-793.

Naciones Unidas. (2006). *El agua, una responsabilidad compartida. 2do informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos del mundo. Confluencia Revista Hispánica De Cultura Y Literatura*, 2006.

Nebel Bernard J. y Wright Richard T. (1996). *Environmental Science: The Way the World Works*. 5a Edición, Prentice Hall. Estados Unidos, 1996.

Nieto, E. (2008). *Control de la contaminación del aire*. Secretaria Distrital de Ambiente. Bogotá

Novotny, V. (1994). *Diverse Solutions for Diffuse Pollution., Water Quality International.*, Vol. 1, 1994, pp. 24-31.

Ojeda Aída. (2006). "Agua y vida para saciar la sed de desarrollo". México. Recuperado 22 de Octubre, 2010, de <http://www.eng.warwick.ac.uk/DTU/pubs/rwh.html>.

Palerm, J. (ed.) 2002. *Antología sobre pequeño riego*, vol. III: *Sistemas de riego no convencionales*, Colegio de Postgraduados.

Peña Neyra. (2006). *Sistema de escuestas estudiantiles sobre el proceso de enseñanza*. Ayuda en Línea.

Pérttega Díaz S., Pita Fernández S. (2001) Métodos paramétricos para la comparación de dos medias. t de Student. Investigación: Métodos paramétricos para la comparación de dos medias. t de Student 1/9. Unidad de Epidemiología Clínica y Bioestadística. Complejo Hospitalario Juan Canalejo. A Coruña.

Pescod, M. B. (1992) "Wastewater Treatment and Reuse in Agriculture," FAO Irrigation and Drainage Paper No. 47, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome.

Philippe, J.B ; Ranchet, J. (198), *Pollution des eaux de ruissellement pluvial en zone urbaine*, informe de investigación LCPC No. 142, Paris.

Quevedo Urias. Héctor Adolfo (2006). *Universidad Autónoma de Cd. Juárez. Instituto de ingeniería y tecnología. Departamento de ingeniería civil y ambiental. Métodos Estadísticos para la Ingeniería Ambiental y la Ciencia.*

Qiang, Zhu, Yuanhong, Li, "Rainwater Harvesting in the Loess Plateau of Gansu, China and Its Significance".

Ramalho R.S. (1996). *TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES*. Ed. Reverté. Pág10.

Rodríguez Saucedo. Luis A. (2007). *Guía de laboratorio cero 2007-1*. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ciencias Naturales y matemáticas. Pontificia Universidad Javeriana sede Cali. Publicaciones en línea [http://drupal.puj.edu.co/files/O1116\\_Luis%20ALfredo%20Rodriguez\\_0.pdf](http://drupal.puj.edu.co/files/O1116_Luis%20ALfredo%20Rodriguez_0.pdf). Recuperado el 20 de Septiembre de 2010. Cali – Colombia.

Sans F. Ramón, Ribas J. De Pablo. (1999). *Ingeniería Ambiental contaminación y tratamientos*, Ed. Alfaomega-Marcombo, Colombia 1999. Pág 148.

Sánchez, L.D y Caicedo, E.Y. (2003). Usos del agua lluvia en Bocana-Buenaventura. Conferencia Internacional Usos Múltiples del Agua: Para la Vida y el Desarrollo Sostenible. Instituto Cinara. Universidad del Valle. Cali-Colombia. Pág 143 - 151

Sanz. Victoria, Chichizola. Franco, Naiouf. Marcelo, De Giusti. Laura, y De Giusti. Armando (2007). *Super linealidad sobre Clusters. Análisis experimental en el problema del Puzzle N2 -1*. Instituto de Investigación en Informática (III-LIDI) – Facultad de Informática – Universidad Nacional de La Plata. La Plata Argentina.

Schervish MJ (1996). *P Values: What They Are and What They Are Not*, The American Statistician. Vol. 50. n.º 3. pp. 203-206.

Schluter W., Gillespie G. (2007). Forward thinking in greater Dublin: an example of SuDS as an integral part to planning application. NOVATECH 2007, 6th International Conference on Sustainable Techniques and Strategies in Urban Water Management. Lyon, France, 2007, p. 181-188

Schmid W, Lazos R. (2000). *Guía para estimar la incertidumbre de la medición*, CENAM, México, DF. Mayo 2000. Pág 27

Shiklomanov, I.A. (1993). *World freshwater resources*. In P. H. Gleick (ed.), *Water in Crisis: A Guide to the World's Freshwater Resources*. New York, Oxford University Press.

Shiklomanov, I. A. and Rodda, J. C. (2003). *World Water Resources at the Beginning of the 21st Century*. Cambridge, UK, Cambridge University Press.

Spiegel, Murray R. (1991). *Estadística*. Traducción 2da edición. Aravaca (Madrid): Editorial McGraw Hill, Interamericana de España, S.A., 556 pág.

Stahre, P. Urbonas, B., (1990), *Stormwater Detention for Drainage, Water Quality And CSO Management*, New Jersey, Prentice Hall. Pág 338.

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (1998). 20th edn, American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation, Washington DC, USA.

Thévenot, D.R. (1992), *Pollution des eaux pluviales urbaines*, París, ENPC, 1992.

Torres A, (2004), *Apuntes de clase sobre Hidrología Urbana*. (Colombia): Editorial Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá D.C. 187 pág.

Torres A., Lara J., Torres Murillo O. M., Estupiñán Perdomo J.L., Méndez Fajardo S. (2009). *Aprovechamiento de Aguas Lluvias en el Campus de la Pontificia Universidad Javeriana, Sede Bogotá* (PUJB). Seminario Internacional: Uso eficiente del agua. AGUA 2009. *La gestión integrada del recurso hídrico frente al cambio climático*. Cali-Colombia. Noviembre 9 al 13.

UNDP, UNEP, World Bank and WRI (2000). *World Resources 2000-2001*. Washington DC, World Resources Institute

Unesco, (1995). *Rainfall Water Management in the Arab Regions State of the Art Report*. ROSTAS, Cairo, Egypt. Edited by Abdin Salih et al. 147 pp.

Unesco, (2003). *Agua para todos, agua para la vida. Primer Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hidricos en el Mundo*, Paris, Francia, 2003, pag 8.

U.S. EPA (2004) Guidelines for Water Reuse, EPA-625/R-04-108, U.S. Environmental Protection Agency and U.S. Agency for International Development, Washington, DC.

WHO and UNICEF (2000). *Global Water Supply and Sanitation Assessment 2000 Report*. Geneva and New York, World Health Organization and United Nations Children's Fund [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/Globassessment/GlasspdfTOC.htm](http://www.who.int/water_sanitation_health/Globassessment/GlasspdfTOC.htm) [Geo-2-123]

WHO (2006) WHO Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater, 3rd ed., Vol. 2, Wastewater Use in Agriculture, World Health Organization, Geneva, Switzerland.

World Commission on Water (1999). *World's Rivers in Crisis - Some Are Dying; Others Could Die*. World Water Council <http://www.worldwatercouncil.org/Vision/6902B03438178538C125683A004BE974.htm> [Geo-2-124]

World Water Council (2000). *World Water Vision Commission Report: A Water Secure World. Vision for Water, Life and the Environment*. World Water Council <http://www.worldwatercouncil.org/Vision/Documents/CommissionReport.pdf> [Geo-2-125]

WSSCC (2000). *Vision 21: A Shared Vision for Water Supply, Sanitation and Hygiene and a Framework for Future Action*. Geneva, World Health Organization

Vishwanath S. (2001). *Domestic Rainwater Harvesting: Some Applications in Bangalore, India*. RWH Conference, IITD, New Delhi, April 2001.

Anexo A

NORMAS PARA LOS DIFERENTES USOS:

ZONA	USO	CALIDAD	FUENTE
BAÑOS	Sanitario / orinal	pH = 6-9	(EPA,2004)
		pH = 5.8-8.6	(MLIT, 2005)
		DBO5 <= 10 mg/L	(EPA,2004)
		SST <= 5 mg/L	(EPA,2004)
		T <= 5 NTU	(EPA,2004)
		T <= 2 NTU	(MLIT, 2005)
		EColi = ND	(EPA,2004)
		ColiTot = ND	(MLIT, 2005)
	Cl2 residual >= 1 mg/L	(EPA,2004)	
	Lavamanos		
	Duchas	pH = 6-9	(EPA,2004)
		pH = 5-9	(recreativo, contacto primario)
		DBO5 <= 10 mg/L	(EPA,2004)
		SST <= 5 mg/L	(EPA,2004)
		T <= 2 NTU	(EPA,2004)
		EColi = ND	(EPA,2004)
		EColi < 500 cfu/100 mL	(EU, 2006)
		Cl2 residual >= 1 mg/L	(EPA,2004)
		ColiF < 200 microorganismos/100mL	(recreativo, contacto primario)
		ColiT < 1000 microorganismos/100mL	(recreativo, contacto primario)
Fenol < 0.002 mg/L		(recreativo, contacto primario)	
Intestinal enterococci < 200 cfu/100 mL		(EU, 2006)	
OD > 70% concentración saturación	(recreativo, contacto primario)		
Sustancias activas al azul de metileno < 0.5 mg/L	(recreativo, contacto primario)		
CAFETERÍA S	Lavaplatos losa		
	Lavaplatos alimentos		
	Cocinar		
RIEGO	Riego no agrícola	pH = 6-9	(EPA,2004)
		pH < 7 para evitar que los elementos se tapen	(Pescod, 1992), (Gilbert <i>et al</i> , 1982), (Gilbert <i>et al</i> , 1982)
		DBO5 <= 10 mg/L	(EPA,2004)
		SST <= 5 mg/L	(EPA,2004)
		SD < 500 mg/L sólidos disueltos para evitar que los elementos se tapen	(Pescod, 1992), (Gilbert <i>et al</i> , 1982), (Gilbert <i>et al</i> , 1982)
		T <= 5 NTU	(EPA,2004)
		EColi = ND	(EPA,2004)
		Cl2 residual >= 1 mg/L	(EPA,2004)
		Mn < 0.1 mg/L para evitar que los elementos se tapen (*)	(Pescod, 1992), (Gilbert <i>et al</i> , 1982), (Gilbert <i>et al</i> , 1982)
		Fe < 0.1 mg/L para evitar que los elementos se tapen (*)	(Pescod, 1992), (Gilbert <i>et al</i> , 1982), (Gilbert <i>et al</i> , 1982)
		H <sub>2</sub> S < 0.5 mg/L para evitar que los elementos se tapen (*)	(Pescod, 1992), (Gilbert <i>et al</i> , 1982), (Gilbert <i>et al</i> , 1982)
		Población bacteriológica < 10000 individuos/L para evitar que los elementos se tapen (*)	(Pescod, 1992), (Gilbert <i>et al</i> , 1982), (Gilbert <i>et al</i> , 1982)
		Riego agrícola por aspersión	pH = 6-9
	pH < 7 para evitar que los elementos se tapen		(Pescod, 1992), (Gilbert <i>et al</i> , 1982), (Gilbert <i>et al</i> , 1982)
	pH = 4.5-9 (*)		(Ministerio de Salud República de Colombia, 1984)
	DBO5 <= 10 mg/L		(EPA,2004)
	SST <= 5 mg/L		(EPA,2004)
	SD < 500 mg/L sólidos disueltos para evitar que los elementos se tapen		(Pescod, 1992), (Gilbert <i>et al</i> , 1982), (Gilbert <i>et al</i> , 1982)
	T <= 2 NTU		(EPA,2004)
	EColi = ND	(EPA,2004)	
Cl2 residual >= 1 mg/L	(EPA,2004)		
HuevosHelm <= 1 /L	(WHO,2006)		
Al < 5 mg/L (*)	(Ministerio de Salud República de Colombia, 1984)		
As < 0.10 mg/L (*)	(EPA,2004) (EPA,2004), (Ministerio de Salud República de Colombia, 1984)		

		B < 0.75 mg/L (*)	(EPA,2004)
		B = 0.3 – 4.0 mg/L (*)	(Ministerio de Salud República de Colombia, 1984)
		Be < 0.1 mg/L (*)	(Ministerio de Salud República de Colombia, 1984)
		Cd < 0.01 mg/L (*)	(EPA,2004) (Ministerio de Salud República de Colombia, 1984)
		Co < 0.05 mg/L (*)	(Ministerio de Salud República de Colombia, 1984)
		Cr < 0.10 mg/L (*)	(EPA,2004) (Ministerio de Salud República de Colombia, 1984)
		Cu < 0.20 mg/L (*)	(EPA,2004) (Ministerio de Salud República de Colombia, 1984)
		F < 1.0 mg/L (*)	(Ministerio de Salud República de Colombia, 1984)
		Fe < 5.0 mg/L (*)	(Ministerio de Salud República de Colombia, 1984)
		Hg = ND (*)	(EPA,2004)
		Li < 2.5 mg/L (*)	(Ministerio de Salud República de Colombia, 1984)
		Mn < 0.2 mg/L (*)	(Ministerio de Salud República de Colombia, 1984)
		Mo < 0.01 mg/L (*)	(EPA,2004), (Ministerio de Salud República de Colombia, 1984)
		Ni < 0.20 mg/L (*)	(EPA,2004), (Ministerio de Salud República de Colombia, 1984)
		Pb < 5.0 mg/L (*)	(EPA,2004), (Ministerio de Salud República de Colombia, 1984)
		Se < 0.02 mg/L (*)	(EPA,2004), (Ministerio de Salud República de Colombia, 1984)
		V < 0.10 mg/L (*)	(Ministerio de Salud República de Colombia, 1984)
		Zn < 2.0 mg/L (*)	(EPA,2004), (Ministerio de Salud República de Colombia, 1984)
		Mn < 0.1 mg/L para evitar que los elementos se tapen (*)	(Pescod, 1992), (Gilbert <i>et al</i> , 1982), (Gilbert <i>et al</i> , 1982)
		Fe < 0.1 mg/L para evitar que los elementos se tapen (*)	(Pescod, 1992), (Gilbert <i>et al</i> , 1982), (Gilbert <i>et al</i> , 1982)
		H <sub>2</sub> S < 0.5 mg/L para evitar que los elementos se tapen (*)	(Pescod, 1992), (Gilbert <i>et al</i> , 1982), (Gilbert <i>et al</i> , 1982)
		Población bacteriológica < 10000 individuos/L para evitar que los elementos se tapen (*)	(Pescod, 1992), (Gilbert <i>et al</i> , 1982), (Gilbert <i>et al</i> , 1982)
		ColiT < 5000 NMP para frutas que se consuman sin quitar la cáscara y para hortalizas de tallo corto (*)	(Ministerio de Salud República de Colombia, 1984)
		ColiF < 1000 NMP para frutas que se consuman sin quitar la cáscara y para hortalizas de tallo corto (*)	(Ministerio de Salud República de Colombia, 1984)
	Riego agrícola superficial	pH = 6-9	(EPA,2004)
		pH < 7 para evitar que los elementos se tapen	(Pescod, 1992), (Gilbert <i>et al</i> , 1982), (Gilbert <i>et al</i> , 1982)
		DBO5 <= 30 mg/L	(EPA,2004)
		SST <= 30 mg/L	(EPA,2004)
		SD < 500 mg/L sólidos disueltos para evitar que los elementos se tapen	(Pescod, 1992), (Gilbert <i>et al</i> , 1982), (Gilbert <i>et al</i> , 1982)
		Fcoli <= 200 / 100 mL	(EPA,2004)
		Fcoli_por_muestra <= 800 / 100 mL	(EPA,2004)
		EColi =	(EPA,2004)
		Cl2 residual >= 1 mg/L	(EPA,2004)
		HuevosHelm <= 1 /L	(WHO,2006)
		(*)	
LAVADO	Lavado pisos y fachadas	pH = 5.8-8.6	(MLIT, 2005)
		T <= 2 NTU	(MLIT, 2005)
		ColiTot = ND	(MLIT, 2005)
	Lavado carros	pH = 6-9	(EPA,2004)
		DBO5 <= 10 mg/L	(EPA,2004)
		SST <= 5 mg/L	(EPA,2004)
		T <= 5 NTU	(EPA,2004)
		EColi = ND	(EPA,2004)
		Cl2 residual >= 1 mg/L	(EPA,2004)
AGUA POTABLE	Consumo		(EU, 1998)
	Laboratorio		(Ministerio de Salud República de Colombia, 1984)
PAISAJISTI CO	Fuentes	DBO5 <= 30 mg/L	(EPA,2004)
		pH = 5-9	(recreativo, contacto secundario)
		SST <= 30 mg/L	(EPA,2004)

	FColi $\leq$ 200 /100 mL	(EPA,2004)
	Cl2 residual $\geq$ 1 mg/L	(EPA,2004)
	ColiT < 5000 microorganismos/100mL	(recreativo, contacto secundario)
	Sustancias activas al azul de metileno < 0.5 mg/L	(recreativo, contacto secundario)

Norma para calidad del agua de consumo "Council Directive 98/83/EC (1998).

PARÁMETROS	Valor paramétricos	Unidad
<b>Parámetros microbiológicos</b>		
Escherichia coli (E. coli)	0	número/100 ml
Enterococos	0	número/100 ml
<b>Parámetros químicos</b>		
Acrilamida	0,1	$\mu\text{g/l}$
Antimonio	5	$\mu\text{g/l}$
Arsénico	10	$\mu\text{g/l}$
Benceno	1	$\mu\text{g/l}$
Benzo(a)pireno	0,01	$\mu\text{g/l}$
Boro	1	mg/l
Bromato	10	$\mu\text{g/l}$
Cadmio	5	$\mu\text{g/l}$
Cromo	50	$\mu\text{g/l}$
Cobre	2	mg/l
Cianuro	50	$\mu\text{g/l}$
1,2-dicloroetano	3	$\mu\text{g/l}$
Epiclorhidrina	0,1	$\mu\text{g/l}$
Fluoruro	1,5	mg/l
Plomo	10	$\mu\text{g/l}$
Mercurio	1	$\mu\text{g/l}$
Níquel	20	$\mu\text{g/l}$
Nitrato	50	mg/l
Nitrito	0,5	mg/l
Plaguicidas	0,1	$\mu\text{g/l}$
Total plaguicidas	0,5	$\mu\text{g/l}$
Hidrocarburos policíclicos aromáticos	0,1	$\mu\text{g/l}$
Selenio	10	$\mu\text{g/l}$
Tetracloroetano y tricloroetano	10	$\mu\text{g/l}$
Total trihalometanos s	100	$\mu\text{g/l}$
Cloruro de vinilo	0,5	$\mu\text{g/l}$
<b>Parámetros indicadores</b>		
Aluminio	200	$\mu\text{g/l}$
Amonio	0,5	mg/l

Cloruro	250	mg/l
Clostridium perfringens (incluidas esporas)	0	número/100 ml
Color	Aceptable para los consumidores y sin cambios anómalos	
Conductividad	2 500	μS cm-1 a 20 °C
Concentración en iones hidrógeno	≥6,5 y 9,5≤	Unidades pH
Hierro 200	200	μg/l
Manganeso 50	50	μg/l
Olor	Aceptable para los consumidores y sin cambios anómalos	
Oxidabilidad	5	mg/l O <sub>2</sub>
Sulfato	250	mg/l
Sodio	200	
Sabor	Aceptable para los consumidores y sin cambios anómalos	
Recuento de colonias a 22 °C	Sin cambios anómalos	
Bacterias coliformes	0	número/100 ml
Carbono orgánico total (COT)	Sin cambios anómalos	
Turbidez	Aceptable para los consumidores y sin cambios anómalos	
Tritio	100	Bq/l
Dosis indicativa total	0,1	mSv/año

Norma para consumo Decreto 1594 de 1984, Usos del agua y residuos líquidos, norma para el agua potable. Sólo se necesita desinfección

<b>Referencia</b>	<b>Expresado como</b>	<b>Valor (mg/L)</b>
Amoníaco	N	1.0
Arsénico	As	0.05
Bario	Ba	1.0
Cadmio	Cd	0.01
Cianuro	CN-	0.2
Cinc	Zn	15.0
Cloruros	Cl-	250.0
Cobre	Cu	1.0
Color	Color real	20 unidades, escala
Compuestos Fenólicos	Fenol	0.002
Cromo	Cr +6	0.05
Difenil Policlorados	Concentración de agente activo	No detectable
Mercurio	Hg	0.002
Nitratos	N	10.0
Nitritos	N	10.
pH	Unidades	6.5 - 8.5 unidades
Plata	Ag	0.05
Plomo	Pb	0.05
Selenio	Se	0.01
Sulfatos	SO <sub>4</sub>	400.0
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	0.5
Turbiedad	UJT	10 unidades Jackson de turbiedad, UJT.
Coliformes totales	NMP	1.000 microorganismos/100 ml.

## Anexo B

### CODIGO PARA EL CÁLCULO DE INCERTIDUMBRES ASOCIADAS

Código para hallar el cálculo de las incertidumbres realizado en MatLab. Este programa realiza el cálculo del promedio de los datos y la incertidumbre media, los cálculos de las incertidumbres se realizaron independientemente para cada prueba que se hizo en los laboratorios, el programa comprende cuatro módulos los cuales realizan pasos independientes y se corren todos en un bloque general.

#### Código de programación ppal

Es el bloque general que integra los cuatro módulos, compilándose en uno solo.

```
modulo1_v01
modulo2_v01
open('resultado.txt')
```

#### Código de programación módulo 01

En el módulo 01 se cargan los datos introducidos por el operador del programa y se desarrolla el cálculo de las incertidumbres asociadas, teniendo en cuenta la precisión de los equipos e instrumentos utilizados para cada ensayo, grafica diagramas de caja o “boxplot”, obteniendo como resultados el promedio de los datos de entrada y las respectivas incertidumbres calculadas y así mismo guarda en memoria los resultados.

% se carga el archivo datosAcidez.txt que tiene los datos de A, B, C y M en cada fila. Cada columna corresponde a cada replicado

```
datosA=load('datosAcidez.txt');
precision1=0.1;
precision2=0.01;
```

```
A=datosA(1,:);
B=datosA(2,:);
C=datosA(3,:);
M=datosA(4,:);
```

```
Acidez=1000*A.*B.*C./M;
Acidez=Acidez';
```

```
uA=1000*(B.*C)./M;
```

```
uB=(ones(1,3)*precision1/2).^2;
uC=((A.^2).*(ones(1,3)*precision2/2).^2)./M.^2;

uAcidez=uA.*(uB+uC).^5;
uAcidez=uAcidez';

datos=[Acidez uAcidez];

% datos para boxplot
fila1=Acidez'-2*uAcidez';
fila2=Acidez';
fila3=Acidez'+2*uAcidez';
datosbox=[fila1;fila2;fila3]

figure(3)
(datosbox)

save 'datos.txt' -ascii datos
```

### Código de programación módulo 02

En el módulo 02 se cargan los datos hallados en el paso anterior, y se hace la evaluación de los posibles traslapos en los cuales fue necesario establecer un rango que lograra expresar su trazabilidad mínima y máxima para establecer un margen de confiabilidad en los estos y con ello seleccionar cuáles magnitudes podrían seguir siendo utilizadas teniendo en cuenta si es el caso o cuales rechazadas. Lo anterior, a partir del análisis de tres casos probables: 1.) La totalidad de datos es similar y se encuentran dentro del margen de incertidumbre. 2.) Dos datos son similares y uno diferente debido a que su incertidumbre está fuera del margen de aceptación ó viceversa. Y 3.) Todos los resultados, incluyendo sus márgenes de incertidumbre, no se traslapan y por ello son diferentes. De acuerdo a la Ilustración 7 para el caso 1.), sólo se deben tener en cuenta los dos primeros datos, debido a que los resultados obtenidos con su incertidumbre asociada se encuentran dentro del margen de aceptación (se traslapan), contrariamente, para los casos 2.) Y 3.), se deben tomar los tres valores obtenidos como consecuencia de su alta y baja trazabilidad, respectivamente.

Dependiendo del tipo de traslapo el módulo 02 dirige los resultados al módulo 03 si ningún dato se traslapa si los tres datos se cruzan, o al módulo 04 si dos datos se cruzan.

```
datos=load('datos.txt'); % carga datos cuya col 1 es el valor del ensayo y la
col 2 es el valor de la incertidumbre para cada resultado
[ minimo, Iminimo]=min(datos(:,1));
uminimo=datos(Iminimo,2);

[ maximo, Imaximo]=max(datos(:,1));
umaximo=datos(Imaximo,2);

if Imaximo>Iminimo
    Mmedio=datos;
    Mmedio(Iminimo,:)=[];
    Mmedio(Imaximo-1,:)=[];
else
    Mmedio=datos;
    Mmedio(Imaximo,:)=[];
    Mmedio(Iminimo-1,:)=[];
end

medio=Mmedio(1,1);
umedio=Mmedio(1,2);

if minimo+2*uminimo<medio-2*umedio
    if maximo-2*umaximo>medio+2*umedio
        modulo3_v01
    else
        datos(Iminimo,:)=[];
        save 'datosmodif.txt' -ascii datos
        modulo4_v01
    end
else
    if maximo-2*umaximo>medio+2*umedio
        datos(Imaximo,:)=[];
        save 'datosmodif.txt' -ascii datos
        modulo4_v01
    else
        modulo3_v01
    end
end
```

### Código de programación módulo 03

En el módulo 03 se cargan los datos, y se pregunta el número de datos aleatorios a utilizar, para coger el promedio y la incertidumbre promedio y así hacer el análisis de

Montecarlo, el cual determinara el valor más probable de la serie de todas las combinaciones que podría ostentar cada resultado, así como su incertidumbre asociada. Por ello, siguiendo una distribución normal se programó un modelo que permite por medio de MatLab generar 5.000 datos aleatorios en el cual cada corrida genera los valores por triplicado de cada ensayo dentro del margen de incertidumbre anteriormente establecido, arrojando consigo el valor de su desviación estándar. Al final de las corridas el programa promedia los 5000 valores de desviación estándar del ensayo estudiado y así su incertidumbre, generando de esta forma el resultado y la incertidumbre más probable, con una confiabilidad del 95 %, expresando los resultados del valor promedio y la incertidumbre asociada para dicho ensayo.

```
datos=load('datos.txt'); % carga datos cuya col 1 es el valor del ensayo y la
col 2 es el valor de la incertidumbre para cada resultado
```

```
nalea=input('numero de datos aleatorios: ');
```

```
A=[ones(nalea,1)*datos(1,1) ones(nalea,1)*datos(1,2)];
B=[ones(nalea,1)*datos(2,1) ones(nalea,1)*datos(2,2)];
C=[ones(nalea,1)*datos(3,1) ones(nalea,1)*datos(3,2)];
```

```
randA=normrnd(A(:,1),A(:,2));
randB=normrnd(B(:,1),B(:,2));
randC=normrnd(C(:,1),C(:,2));
```

```
randM=[randA randB randC];
incM=std(randM');
incM=incM';
incMmean=mean(incM);
```

```
[ii,jj]=size(incM);
i=1;
Y=0;
res=0;
```

```
while i<=ii
    Y=[Y;mean(incM(1:i,1))];
    res=[res;(Y(i+1,1)-Y(i,1))];
    i=i+1;
end
Y(1,:)=[];
res(1,:)=[];
```

```
promedio=mean(datos(:,1))
incertidumbre=Y(ii,1)
residuo=res(ii,1)
```

```
figure(1)
```

```
plot(Y)

figure(2)
plot(res(2:ii,1))

ndatos=3;
%ndatos=load('ndatos.txt');
resultado=[promedio incertidumbre ndatos];
save 'resultado.txt' -ascii resultado
```

### Código de programación módulo 04

Finalmente en el módulo 04 se cargan los datos modificados, en los cuales descarta un dato realizando el mismo procedimiento del modulo 03. El programa general que integra los cuatro módulos es el “ppal”, que hace un bloque para poder correr todos en uno.

```
datos=load('datosmodif.txt'); % carga datos cuya col 1 es el valor del ensayo
y la col 2 es el valor de la incertidumbre para cada resultado

nalea=input('numero de datos aleatorios: ');

A=[ones(nalea,1)*datos(1,1) ones(nalea,1)*datos(1,2)];
B=[ones(nalea,1)*datos(2,1) ones(nalea,1)*datos(2,2)];
%C=[ones(nalea,1)*datos(3,1) ones(nalea,1)*datos(3,2)];

randA=normrnd(A(:,1),A(:,2));
randB=normrnd(B(:,1),B(:,2));
%randC=normrnd(C(:,1),C(:,2));

randM=[randA randB]; % randC;
incM=std(randM');
incM=incM';
incMmean=mean(incM);

[ii,jj]=size(incM);
i=1;
Y=0;
res=0;

while i<=ii
    Y=[Y;mean(incM(1:i,1))];
    res=[res;(Y(i+1,1)-Y(i,1))];
    i=i+1;
end
Y(1,:)=[];
res(1,:)=[];
```

```
promedio=mean(datos(:,1))
incertidumbre=Y(ii,1)
residuo=res(ii,1)

figure(1)
plot(Y)

figure(2)
plot(res(2:ii,1))

ndatos=2;
resultado=[promedio incertidumbre ndatos];
save 'resultado.txt' -ascii resultado
```

## Anexo C

### CÓDIGO DEL PROGRAMA PARA REALIZAR LA AGRUPACIÓN DE CLÚSTER.

Este programa carga los datos en una matriz y los analiza con “pdist”, comparándolos mediante distancias euclidianas y dando como resultado un dendrograma.

#### Código de programación compar02

```
clear

X=load('promedios.txt');
Xt=X';
Y= pdist(Xt,'euclidean');
[ii,jj]=size(Y);
Z= linkage(Y,'average');

figure(1)
[H,T] = dendrogram(Z,'colorthreshold','default');
set(H,'LineWidth',1.5);

YY=squareform(Y);
```

## Anexo D

### CÓDIGO DEL PROGRAMA PARA REALIZAR EN ANÁLISIS ANOVA.

Este programa realiza el análisis de comparación estadística (Anova), arrojando el valor de p-value.

#### Código de programación prog\_anova

```
clear
%clf
pto3=load('pto3.txt');
pto1=load('pto1.txt');
pto12=load('pto1(2).txt');
pto42=load('pto4(2).txt');
pto2=load('pto2.txt');
pto7=load('pto7.txt');
pto9=load('pto9.txt');
pto92=load('pto9(2).txt');
pto22=load('pto2(2).txt');
pto6=load('pto6.txt');

[i,j]=size(pto3);
count=2;
pto3m=pto3(:,1);
pto1m=pto1(:,1);
pto12m=pto12(:,1);
pto42m=pto42(:,1);
pto2m=pto2(:,1);
pto7m=pto7(:,1);
pto9m=pto9(:,1);
pto92m=pto92(:,1);
pto22m=pto22(:,1);
pto6m=pto6(:,1);

while count<=j
    pto3m=[pto3m; pto3(:,count)];
    pto1m=[pto1m; pto1(:,count)];
    pto12m=[pto12m; pto12(:,count)];
    pto42m=[pto42m; pto42(:,count)];
    pto2m=[pto2m; pto2(:,count)];
    pto7m=[pto7m; pto7(:,count)];
    pto9m=[pto9m; pto9(:,count)];
    pto92m=[pto92m; pto92(:,count)];
    pto22m=[pto22m; pto22(:,count)];
    pto6m=[pto6m; pto6(:,count)];
    count=count+1;
end

intotal=[pto1m pto22m]; % ESTE ES EL QUE HAY QUE MODIFICAR DEPENDIENDO DEL
RESULTADO DEL CLUSTER
```

```
p = anova2(intotal,3);  
  
if p(1)<.05  
    disp('estos dos puntos son significativamente diferentes porque p-  
value<0.05')  
  
else  
    disp('estos dos puntos parecen ser similares porque p-value>0.05')  
end
```

## Anexo E

### CÓDIGO DEL PROGRAMA PARA REALIZAR EN ANÁLISIS POR T-TEST.

#### Código de programación prog ttest v2

```
clear

% crea la variable "matriz" (2 filas y 3 columnas), llamando un archivo
texto. Ese archivo texto
% tiene en cada fila el promedio, la incertidumbre y el numero de
% repeticiones que se utilizaron para sacar ese promedio y esa
% incertidumbre. Cada fila es una muestra.
matriz=load('ttest_entrada.txt');

x1=matriz(1,1);
x2=matriz(2,1);
s1=matriz(1,2);
s2=matriz(2,2);
n1=matriz(1,3);
n2=matriz(2,3);

t=(x1-x2)/(s1^2/n1+s2^2/n2)^(0.5);
df=(s1^2/n1+s2^2/n2)^2/((s1^2/n1)^2/(n1-1)+(s2^2/n2)^2/(n2-1));
pvalue=2*(1-tcdf(t,df))

if pvalue<0.05
    disp('las concentraciones entre los dos puntos son significativamente
diferentes porque p-value<0.05')
else
    disp('las concentraciones entre los dos puntos son similares porque p-
value>0.05')
end

save pvalue.txt -ascii pvalue
```

Anexo F

RESULTADOS DE ENSAYOS REALIZADOS EN EL LABORATORIO DE PRUEBAS Y ENSAYOS DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL DE LA PUJB

**Resultados de los ensayos de calidad de agua lluvia de escorrentía para el punto1 (Dren Principal del campo de Fútbol)**

PUNTO 1 DREN PRINCIPAL DEL CAMPO DE FUTBOL							
ENSAYOS REALIZADOS	UND	CAMPAÑA # 1			CAMPAÑA # 2		
		Fecha:	FEB - 26 - 2009		Fecha:	NOV - 12 - 2009	
		Hora:	11:12:00 a.m.		Hora:	03:12:00 p.m.	
		DP 1	DP 1'	DP 1"	DP 2	DP 2'	DP 2"
FISICOS Y ORGANOLÉPTICOS							
Sólidos suspendidos totales	mg/L	640,0	550,0	335,0	26,0	20,0	18,0
DETERMINACIÓN DE METALES							
Plomo	mg/L	0,0658	0,1277	0,0408	0,0000	0,0001	0,0000
Hierro	mg/L	0,1334	0,1230	0,1583	0,2673	0,2722	0,2732
Cadmio	mg/L	0,0098	0,0200	0,0283	0,0001	0,0000	0,0000
Plata	mg/L	0,0439	0,0466	0,0525	0,0162	0,0098	0,0147
Cobre	mg/L	0,0000	0,0000	0,0000	0,0514	0,0590	0,0432
Níquel	mg/L	0,0181	0,0196	0,0310	0,9342	1,1889	1,7199
Manganeso	mg/L	0,0112	0,0113	0,0416	0,0300	0,0469	0,0303
Sodio	mg/L	4,9118	4,9138	4,9335	0,4089	0,4407	0,4086
Potasio	mg/L	5,3911	5,3846	5,4484	0,8598	0,7952	0,7593
Magnesio	mg/L	2,6967	2,7115	2,6954	0,6420	0,6743	0,6799
Mercurio	mg/L	0,2049	0,2025	0,2042	0,0000	0,0001	0,0000
Zinc	mg/L	0,0000	0,0000	0,0000	0,7376	0,7191	0,6899
CONSTITUYENTES INORGÁNICOS							
pH	mg/L	8,76	8,82	8,83	7,18	7,20	7,21
NTK (mg/l)	mg/L N	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
COMPONENTES ORGÁNICOS							
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	UND	50,0	40,0	35,0	0,0	0,0	0,0

**Resultados de los ensayos de calidad de agua lluvia de escorrentía para el punto2 (Canal Nor-Oriental del campo de Fútbol)**

PUNTO 2 CANAL NOR-ORIENTAL DEL CAMPO DE FUTBOL							
ENSAYOS REALIZADOS	UND	CAMPAÑA # 1			CAMPAÑA # 2		
		Fecha:	SEP - 27 - 2010		Fecha:	OCT - 04 - 2010	
		Hora:	03:30:00 p.m.		Hora:	12:30:00 p.m.	
		C N 1	C N 1'	C N 1"	C N 2	C N 2'	C N 2"
<b>FISICOS Y ORGANOLÉPTICOS</b>							
Acidez total	mg/L CaCo3	114,0	120,0	116,0	132,0	124,0	130,0
Acidez mineral	mg/L CaCo3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Alcalinidad total	mg/L CaCo3	50,0	52,0	54,0	28,0	30,0	30,0
Alcalinidad a la fenolftaleina	mg/L CaCo3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Color Verdadero	UPC	186,0	188,0	190,0	95,0	98,0	100,0
Olor	-	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Turbidez	UNT	30,4	29,6	29,1	42,5	42,3	42,4
Dureza Total	UNT	54,0	58,0	66,0	54,0	50,0	56,0
Dureza por Calcio o calcita	UNT	334,0	344,0	348,0	360,0	384,0	376,0
Dureza por magnesio	UNT	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Sólidos Totales	mg/L	372,0	398,0	394,0	900,0	824,0	890,0
Sólidos suspendidos totales	mg/L	180,0	180,0	180,0	870,0	920,0	870,0
Sólidos Volátiles	mg/L	198,0	188,0	196,0	598,0	552,0	604,0
Sólidos totales disueltos	mg/L	192,0	218,0	214,0	30,0	96,0	20,0
Sólidos Sedimentables	mg/L	1,00	0,90	1,30	2,50	3,50	2,90
Conductividad	µS/cm	135,60	135,80	135,10	53,90	54,30	54,40
Temperatura	°C	10,0	11,0	11,0	16,0	16,0	16,0
<b>DETERMINACIÓN DE METALES</b>							
Plomo	mg/L	0,0001	0,0000	0,0000	0,0230	0,0223	0,0138
Hierro	mg/L	0,5145	0,5148	0,2320	0,4400	0,4485	0,4645
Cadmio	mg/L	0,0000	0,0001	0,0000	0,0001	0,0000	0,0000
Plata	mg/L	0,0000	0,0000	0,0001	0,0336	0,0276	0,0117
Cobre	mg/L	0,0639	0,0676	0,0598	0,0762	0,0543	0,0566
Níquel	mg/L	0,5840	0,4804	0,9075	1,5354	1,7157	1,8044
Manganeso	mg/L	0,0460	0,0432	0,0446	0,0450	0,0421	0,0423
Sodio	mg/L	4,0222	4,0220	4,0221	1,1923	1,6892	1,4541
Potasio	mg/L	7,5715	7,5717	7,5716	3,5262	3,6333	3,6695
Magnesio	mg/L	1,4780	1,4447	1,4083	0,6296	0,6365	0,6412
Mercurio	mg/L	0,0001	0,0000	0,0000	0,0001	0,0000	0,0000
Zinc	mg/L	0,0728	0,0531	0,0827	0,4285	0,6298	0,5665
<b>CONSTITUYENTES INORGÁNICOS</b>							
Cloro residual	mg/L	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nitrogeno amoniacal	mg/L	7,85	6,72	5,60	3,92	4,48	5,04
Fosforo total	mg/L P	0,66	0,64	0,63	0,83	0,79	0,85
Sulfatos	mg/L SO4	12,00	11,00	12,00	5,10	1,80	4,10
Cloruros	mg/L Cl	18,99	17,99	17,99	18,99	17,99	17,99
pH	UND	7,12	7,15	7,13	7,23	7,28	7,25
NTK	mg/L N	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Oxígeno disuelto	mg/L-O2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>COMPONENTES ORGÁNICOS</b>							
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	mg/L	38,0	38,0	40,0	26,0	28,0	32,0
Demanda Química de oxígeno (DQO)	mg/L	96,7	103,3	100,0	200,0	166,7	176,7

**Resultados de los ensayos de calidad de agua lluvia de escoorrentía para el punto3 (Canal Sur-Oriental del campo de Fútbol)**

PUNTO 3 CANAL SUR-ORIENTAL DEL CAMPO DE FUTBOL							
ENSAYOS REALIZADOS	UND	CAMPAÑA # 1			CAMPAÑA # 2		
		Fecha:	JUN - 05 - 2009		Fecha:	SEP - 27 - 2010	
		Hora:	03:30:00 p.m.		Hora:	12:30:00 p.m.	
			CS 1	CS 1'	CS 1"	CS 2	CS 2'
<b>FISICOS Y ORGANOLÉPTICOS</b>							
Acidez total	mg/L CaCo3	108,0	102,0	104,0	88,0	90,0	90,0
Acidez mineral	mg/L CaCo3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Alcalinidad total	mg/L CaCo3	84,0	80,0	82,0	48,0	50,0	50,0
Alcalinidad a la fenolftaleina	mg/L CaCo3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Color Verdadero	UPC	75,0	80,0	75,0	196,0	188,0	190,0
Olor	-	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Turbidez	UNT	68,1	74,2	75,0	36,2	34,5	35,4
Dureza Total	UNT	122,0	126,0	120,0	50,0	54,0	56,0
Dureza por Calcio o calcita	UNT	116,0	114,0	110,0	420,0	412,0	418,0
Dureza por magnesio	UNT	6,0	12,0	10,0	0,0	0,0	0,0
Sólidos Totales	mg/L	495,0	455,0	467,5	610,0	562,0	610,0
Sólidos suspendidos totales	mg/L	186,7	170,0	156,7	345,0	370,0	360,0
Sólidos Volátiles	mg/L	187,5	175,0	240,0	308,0	310,0	306,0
Sólidos totales disueltos	mg/L	308,3	285,0	310,8	265,0	192,0	250,0
Sólidos Sedimentables	mg/L	5,0	0,5	3,0	4,5	2,0	1,3
Conductividad	µS/cm	298,0	295,0	293,0	123,6	123,9	124,2
Temperatura	°C	13,5	14,0	13,5	10,0	10,0	10,0
<b>DETERMINACIÓN DE METALES</b>							
Plomo	mg/L	-0,0078	-0,0144	-0,0086	0,0001	0,0000	0,0000
Hierro	mg/L	0,6972	0,6836	0,6520	0,2828	0,2812	0,2553
Cadmio	mg/L	0,1173	0,0417	0,0763	0,0000	0,0000	0,0000
Plata	mg/L	0,0095	0,0090	0,0068	0,0000	0,0001	0,0000
Cobre	mg/L	0,0096	0,0026	0,0166	0,0617	0,0753	0,0627
Níquel	mg/L	0,0081	0,0194	0,0027	0,9635	0,9848	0,0410
Manganeso	mg/L	0,0000	0,0000	0,0000	0,0837	0,9900	0,0897
Sodio	mg/L	4,4900	4,5057	4,5095	4,0222	4,0220	4,0221
Potasio	mg/L	4,8263	4,8381	4,8372	7,5716	7,5717	7,5715
Magnesio	mg/L	1,7146	1,7375	1,7392	1,2977	1,2674	1,2334
Mercurio	mg/L	-0,0450	-0,5432	-0,6259	0,0000	0,0000	0,0001
Zinc	mg/L	0,1962	0,1836	0,1862	0,0858	0,1264	0,0981
<b>CONSTITUYENTES INORGÁNICOS</b>							
Cloro residual	mg/L	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nitrogeno amoniacal	mg/L	4,48	3,92	5,04	6,16	5,60	5,04
Fosforo total	mg/L P	0,83	0,86	0,83	0,77	0,66	0,75
Sulfatos	mg/L SO4	12,00	11,00	12,00	12,00	11,00	11,00
Cloruros	mg/L Cl	20,99	18,99	21,99	15,00	16,99	15,00
pH	UND	8,43	8,46	8,49	7,09	7,05	7,08
NTK	mg/L N	1,68	1,12	0,56	0,00	0,00	0,00
Oxigeno disuelto	mg/L-O2	8,00	8,80	9,60	0,00	0,00	0,00
<b>COMPONENTES ORGÁNICOS</b>							
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	mg/L	48,0	42,0	38,0	40,0	46,0	48,0
Demanda Química de oxígeno (DQO)	mg/L	180,0	100,0	93,3	216,7	223,3	206,7

**Resultados de los ensayos de calidad de agua lluvia de escorrentía para el punto4 (Descarga directa de la Cubierta del Ed. de Parqueadero)**

PUNTO 4 DESCARGA DIRECTA DE LA CUBIERTA ED. PARQUEADERO							
ENSAYOS REALIZADOS	UND	CAMPAÑA # 1			CAMPAÑA # 2		
		Fecha:	MAR - 27 - 2009		Fecha:	ABR - 06 - 2010	
		Hora:	01:29:00 p.m.		Hora:	12:26:00 p.m.	
		PDD 1'	PDD 1"	PDD 1"	PDD 2'	PDD 2"	PDD 2"
<b>FISICOS Y ORGANOLÉPTICOS</b>							
Sólidos suspendidos totales	mg/L	5,0	10,0	0,0	20,0	15,0	20,0
<b>DETERMINACIÓN DE METALES</b>							
Plomo	mg/L	0,3316	0,1232	0,0550	0,0000	0,0000	0,0000
Hierro	mg/L	0,3150	0,3103	0,3063	0,1581	0,1759	0,1721
Cadmio	mg/L	0,0105	0,0120	0,0135	0,0054	0,0164	0,0040
Plata	mg/L	0,0302	0,0247	-0,0297	0,0016	0,0099	0,0223
Cobre	mg/L	0,0088	0,0077	0,0294	0,0125	0,0110	0,0161
Níquel	mg/L	0,1394	0,1345	-0,1306	0,0000	0,0000	0,0000
Manganeso	mg/L	0,0145	0,0131	0,0126	0,0103	0,0104	0,0128
Sodio	mg/L	0,7218	0,6993	0,7202	0,9047	0,8424	0,8144
Potasio	mg/L	0,9030	0,9345	0,9394	1,4604	1,4111	1,2800
Magnesio	mg/L	0,2157	0,2122	0,2161	0,1722	0,1735	0,1766
Mercurio	mg/L	0,1534	0,1250	0,1021	0,0000	0,0000	0,0000
Zinc	mg/L	0,8039	0,7603	0,8071	0,1402	0,1501	0,1448
<b>CONSTITUYENTES INORGÁNICOS</b>							
pH	mg/L	6,12	6,26	6,34	9,00	9,00	8,98
NTK (mg/l)	mg/L N	2,24	1,68	2,24	0,00	0,00	0,00
<b>COMPONENTES ORGÁNICOS</b>							
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	UND	10,0	12,0	12,0	12,0	10,0	12,0

**Resultados de los ensayos de calidad de agua lluvia de esorrentía para el punto5 (Caja recolectora Sótano del Ed. de Parquadero)**

PUNTO 5 CAJA RECOLECTORA SOTANO DEL ED. PARQUEADERO							
ENSAYOS REALIZADOS	UND	CAMPAÑA # 1			CAMPAÑA # 2		
		Fecha:	MAR - 27 - 2009		Fecha:	ABR - 06 - 2010	
		Hora:	01:29:00 p.m.		Hora:	12:26:00 p.m.	
		PSCD 1	PSCD 1'	PSCD 1"	PSCD 2	PSCD 2'	PSCD 2"
<b>FISICOS Y ORGANOLÉPTICOS</b>							
Sólidos suspendidos totales	mg/L	35,0	190,0	45,0	50,0	115,0	45,0
<b>DETERMINACIÓN DE METALES</b>							
Plomo	mg/L	0,1535	0,1716	0,1767	0,0000	0,0000	0,0000
Hierro	mg/L	0,4535	0,4509	0,4712	0,4128	0,3961	0,4051
Cadmio	mg/L	0,0166	0,0187	0,0227	0,0000	0,0000	0,0017
Plata	mg/L	-0,0360	-0,0468	-0,0400	0,0394	0,0238	0,0151
Cobre	mg/L	0,0722	0,0287	0,0447	0,0129	0,0132	0,0174
Níquel	mg/L	-0,1312	-0,1273	-0,1287	0,0000	0,0000	0,0000
Manganeso	mg/L	0,0169	0,0086	0,0076	0,0251	0,0272	0,0273
Sodio	mg/L	1,3679	1,2644	1,3148	4,2602	4,2602	4,2602
Potasio	mg/L	0,8898	0,9290	1,0054	4,7439	4,7439	4,7439
Magnesio	mg/L	0,3631	0,3583	0,3484	0,6424	0,6631	0,6819
Mercurio	mg/L	0,1117	0,1158	0,2247	0,0000	0,0000	0,0000
Zinc	mg/L	0,4240	0,4213	0,4203	0,1834	0,1497	0,1779
<b>CONSTITUYENTES INORGÁNICOS</b>							
pH	mg/L	5,99	6,01	6,03	9,14	9,17	9,19
NTK	mg/L N	1,12	2,24	2,80	0,00	0,00	0,00
<b>COMPONENTES ORGÁNICOS</b>							
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	UND	70,0	72,0	74,0	10,0	10,0	15,0

**Resultados de los ensayos de calidad de agua lluvia de escorrentía para el punto6 (Cubierta del Ed. Facultad de Ingeniería)**

PUNTO 6 CUBIERTA FACULTAD DE INGENIERIA							
ENSAYOS REALIZADOS	UND	CAMPANA # 1			CAMPANA # 2		
		Fecha:	AGO - 25 - 2010		Fecha:	SEP - 27 - 2010	
		Hora:	03:15:00 p.m.		Hora:	02:15:00 p.m.	
		ING 1	ING 1'	ING 1"	ING 2	ING 2'	ING 2"
<b>FISICOS Y ORGANOLEPTICOS</b>							
Acidez total	mg/L CaCo3	70,0	68,0	68,0	58,0	62,0	64,0
Acidez mineral	mg/L CaCo3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Alcalinidad total	mg/L CaCo3	12,0	14,0	14,0	50,0	50,0	52,0
Alcalinidad a la fenoltaleina	mg/L CaCo3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Color Verdadero	UPC	30,0	33,0	34,0	25,0	28,0	30,0
Olor	-	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Turbidez	UNT	3,5	3,6	3,5	2,7	2,5	2,4
Dureza Total	UNT	54,0	56,0	54,0	30,0	30,0	30,0
Dureza por Calcio o calcita	UNT	54,0	56,0	58,0	120,0	130,0	132,0
Dureza por magnesio	UNT	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Sólidos Totales	mg/L	126,0	146,0	144,0	90,0	90,0	88,0
Sólidos suspendidos totales	mg/L	38,0	38,0	40,0	4,0	36,0	34,0
Sólidos Volatiles	mg/L	30,0	30,0	38,0	28,0	30,0	40,0
Sólidos totales disueltos	mg/L	88,0	106,0	106,0	86,0	54,0	54,0
Sólidos Sedimentables	mg/L	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1
Conductividad	µS/cm	73,5	73,6	73,9	48,7	48,4	48,1
Temperatura	°C	10,0	10,0	10,0	16,0	16,0	16,0
<b>DETERMINACION DE METALES</b>							
Plomo	mg/L	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001
Hierro	mg/L	0,0454	0,0383	0,0365	0,1786	0,1654	0,1607
Cadmio	mg/L	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	0,0000	0,0000
Plata	mg/L	0,0000	0,0000	0,0000	0,0112	0,0089	0,0178
Cobre	mg/L	0,0569	0,0556	0,0520	0,0287	0,0444	0,0314
Níquel	mg/L	0,0806	0,0358	0,6721	1,2812	0,9924	0,6914
Manganeso	mg/L	0,0237	0,0197	0,0172	0,0223	0,0168	0,0147
Sodio	mg/L	1,4348	1,4221	1,4124	0,4666	0,3084	0,3312
Potasio	mg/L	3,0819	2,9624	2,8995	0,7241	0,7159	0,7123
Magnesio	mg/L	1,0844	1,1028	1,1117	0,3406	0,3356	0,3334
Mercurio	mg/L	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001
Zinc	mg/L	0,1398	0,1508	0,1727	0,5435	0,5515	0,5538
<b>CONSTITUYENTES INORGANICOS</b>							
Cloro residual	mg/L	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nitrogeno amoniacal	mg/L	6,16	4,48	5,60	5,60	5,04	6,16
Sulfatos	mg/L SO4	0,00	0,00	0,00	1,40	2,60	3,40
Cloruros	mg/L Cl	15,00	16,99	15,00	10,00	9,00	11,00
pH	UND	6,92	6,95	6,97	7,01	6,98	6,97
NTK	mg/L N	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>COMPONENTES ORGANICOS</b>							
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	mg/L	12,0	12,0	14,0	0,0	0,0	0,0
Demanda Química de oxígeno (DQO)	mg/L	10,0	6,7	13,3	0,0	0,0	0,0

**Resultados de los ensayos de calidad de agua lluvia de escorrentía para el punto7 (Cubierta del Ed. Fernando Barón)**

PUNTO 7 CUBIERTA ED. FERNANDO BARON							
ENSAYOS REALIZADOS	UND	CAMPANA # 1			CAMPANA # 2		
		Fecha:	SEP - 15 - 2009		Fecha:	AGO - 25 - 2010	
		Hora:	03:15:00 p.m.		Hora:	02:15:00 p.m.	
		BAR 1	BAR 1'	BAR 1''	BAR 2	BAR 2'	BAR 2''
<b>FISICOS Y ORGANOLEPTICOS</b>							
Acidez total	mg/L CaCo3	28,0	26,0	30,0	56,0	58,0	54,0
Acidez mineral	mg/L CaCo3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Alcalinidad total	mg/L CaCo3	12,0	10,0	12,0	30,0	30,0	32,0
Alcalinidad a la fenoltaleina	mg/L CaCo3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Color Verdadero	UPC	20,0	25,0	20,0	35,0	35,0	35,0
Olor	-	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Turbidez	UNT	4,2	4,1	4,3	3,0	2,9	3,1
Dureza Total	UNT	38,0	42,0	40,0	42,0	40,0	44,0
Dureza por Calcio o calcita	UNT	30,0	28,0	32,0	84,0	86,0	82,0
Dureza por magnesio	UNT	8,0	14,0	8,0	0,0	0,0	0,0
Sólidos Totales	mg/L	50	47,5	52,5	96,0	104,0	104,0
Sólidos suspendidos totales	mg/L	40,0	38,0	42,0	36,7	36,7	33,3
Sólidos Volátiles	mg/L	187,5	175	240	70,0	76,0	70,0
Sólidos totales disueltos	mg/L	10,0	10,0	10,0	59,0	67,0	71,0
Sólidos Sedimentables	mg/L	1,0	1,0	1,0	0,1	0,1	0,1
Conductividad	µS/cm	15,8	15,9	15,9	46,2	45,7	45,8
Temperatura	°C	17,5	17,6	17,8	14,0	14,0	14,0
<b>DETERMINACIÓN DE METALES</b>							
Plomo	mg/L	-0,8848	-0,9881	-0,9881	0,0020	0,0252	0,0392
Hierro	mg/L	0,1355	0,1330	0,1275	3,1391	3,6876	3,4427
Cadmio	mg/L	0,0308	0,0348	0,0581	0,0067	0,0080	0,0079
Plata	mg/L	-0,0040	-0,0018	-0,0045	0,0220	0,0367	0,0306
Cobre	mg/L	0,0034	0,0055	0,0133	0,0466	0,0389	0,0419
Níquel	mg/L	-0,2520	-0,0138	-0,0137	0,0154	0,0164	0,0195
Manganeso	mg/L	0,0000	0,0000	0,0000	0,0063	0,0049	0,0074
Sodio	mg/L	0,1587	0,1542	0,1573	4,0222	4,0221	4,0220
Potasio	mg/L	0,3411	0,3411	0,3426	2,5864	2,5510	2,5378
Magnesio	mg/L	0,1983	0,2009	0,2095	0,3191	0,3179	0,3238
Mercurio	mg/L	-0,2290	-0,2309	-0,2512	0,0000	0,0000	0,0001
Zinc	mg/L	0,1945	0,1682	0,1506	0,0812	0,1111	0,1495
<b>CONSTITUYENTES INORGANICOS</b>							
Cloro residual	mg/L	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nitrogeno amoniacal	mg/L	2,80	3,36	2,80	2,80	3,36	2,80
Cloruros	mg/L Cl	10,90	9,90	11,90	13,00	13,00	12,00
pH	UND	6,70	6,72	6,73	7,45	7,46	7,51
NTK	mg/L N	0,56	0,56	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>COMPONENTES ORGANICOS</b>							
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	mg/L	10,0	10,0	10,0	14,0	14,0	16,0
Demanda Química de oxígeno (DQO)	mg/L	20,0	16,7	23,3	26,7	30,0	33,3

**Resultados de los ensayos de calidad de agua lluvia de escorrentía para el punto9 (Cubierta del Ed. Taller de Arquitectura)**

PUNTO 9 CUBIERTA ED. TALLERES DE ARQUITECTURA							
ENSAYOS REALIZADOS	UND	CAMPAÑA # 1			CAMPAÑA # 2		
		Fecha:	OCT - 20 - 2009		Fecha:	AGO - 25 - 2010	
		Hora:	12:16:00 p.m.		Hora:	03:25:00 p.m.	
		ARQ 1	ARQ 1'	ARQ 1"	ARQ 2	ARQ 2'	ARQ 2"
<b>FISICOS Y ORGANOLÉPTICOS</b>							
Acidez total	mg/L CaCo3	38,0	40,0	34,0	64,0	60,0	58,0
Acidez mineral	mg/L CaCo3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Alcalinidad total	mg/L CaCo3	10,0	8,0	8,0	22,0	24,0	24,0
Alcalinidad a la fenolftaleina	mg/L CaCo3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Color Verdadero	UPC	25,0	24,0	24,0	40,0	40,0	40,0
Olor	-	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Turbidez	UNT	4,0	4,3	4,1	4,3	4,4	4,5
Dureza Total	UNT	40,0	40,0	40,0	30,0	32,0	32,0
Dureza por Calcio o calcita	UNT	36,0	26,0	30,0	60,0	72,0	64,0
Dureza por magnesio	UNT	4,0	14,0	10,0	0,0	0,0	0,0
Sólidos Totales	mg/L	52,0	48,0	50,0	108,0	106,0	114,0
Sólidos suspendidos totales	mg/L	40,0	54,0	106,0	57,0	60,0	63,0
Sólidos Volátiles	mg/L	30,0	24,0	34,0	50,0	54,0	56,0
Sólidos totales disueltos	mg/L	12,0	0,0	0,0	51,0	46,0	51,0
Sólidos Sedimentables	mg/L	0,0	0,0	0,0	0,6	0,6	0,7
Conductividad	µS/cm	22,1	16,3	18,2	92,1	92,2	92,1
Temperatura	°C	13,5	13,1	13,2	13,0	13,0	13,0
<b>DETERMINACIÓN DE METALES</b>							
Plomo	mg/L	-0,0291	-0,0461	-0,0552	0,0554	0,0467	0,0511
Hierro	mg/L	0,0540	0,0690	0,0362	3,7636	3,5392	3,4094
Cadmio	mg/L	0,0186	0,0160	0,0254	0,0040	0,0048	0,0052
Plata	mg/L	0,0061	0,0048	0,0067	0,0268	0,0194	0,0201
Cobre	mg/L	0,0106	0,0134	0,0023	0,0334	0,0351	0,0394
Níquel	mg/L	-0,0305	-0,0216	-0,0701	0,0184	0,0019	0,0160
Manganeso	mg/L	0,0000	0,0000	0,0000	0,0240	0,0285	0,0467
Sodio	mg/L	0,0184	0,0208	0,0177	0,9252	0,9198	0,9038
Potasio	mg/L	0,7714	0,7804	0,7432	1,8384	1,7429	1,7542
Magnesio	mg/L	0,1437	0,1325	0,1281	0,2440	0,2493	0,2259
Mercurio	mg/L	-0,1526	-0,1138	-0,6600	0,0000	0,0000	0,0001
Zinc	mg/L	0,1496	0,1366	0,1296	0,1156	0,1012	0,0933
<b>CONSTITUYENTES INORGÁNICOS</b>							
Cloro residual	mg/L	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nitrogeno amoniacal	mg/L	0,00	0,00	0,00	2,80	3,36	2,80
Cloruros	mg/L Cl	12,00	11,00	11,00	22,99	22,99	22,99
pH	UND	5,52	4,98	5,16	7,79	7,81	7,83
NTK	mg/L N	2,80	2,24	3,36	1,68	2,80	2,24
<b>COMPONENTES ORGÁNICOS</b>							
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	mg/L	10,0	15,0	15,0	20,0	20,0	20,0
Demanda Química de oxígeno (DQO)	mg/L	0,0	0,0	0,0	36,7	33,3	40,0

**Resultados de los ensayos de calidad de agua lluvia de escorrentía para el punto10 (Sumidero del Ed. Facultad de Psicología)**

PUNTO 10 SUMIDERO ED. FACULTAD DE PSICOLOGIA MANUEL BRICEÑO							
ENSAYOS REALIZADOS	UND	CAMPAÑA # 1			CAMPAÑA # 2		
		Fecha:	SEP - 15 - 2009		Fecha:	OCT - 04 - 2010	
		Hora:	12:28:00 p.m.		Hora:	12:30:00 p.m.	
			PSI 1	PSI 1'	PSI 1"	PSI 2	PSI 2'
<b>FISICOS Y ORGANOLEPTICOS</b>							
Acidez total	mg/L CaCo3	42,0	40,0	42,0	54,0	56,0	54,0
Acidez mineral	mg/L CaCo3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Alcalinidad total	mg/L CaCo3	30,0	34,0	32,0	16,0	18,0	16,0
Alcalinidad a la fenoltaleina	mg/L CaCo3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Color Verdadero	UPC	70,0	75,0	70,0	45,0	47,0	48,0
Olor	-	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Turbidez	UNT	32,5	31,8	32,6	5,6	5,7	5,8
Dureza Total	UNT	100,0	98,0	96,0	30,0	30,0	32,0
Dureza por Calcio o calcita	UNT	82,0	80,0	84,0	160,0	156,0	162,0
Dureza por magnesio	UNT	18,0	18,0	16,0	0,0	0,0	0,0
Sólidos Totales	mg/L	272,5	277,5	257,5	154,0	182,0	156,0
Sólidos suspendidos totales	mg/L	218,0	222,0	206,0	110,0	120,0	160,0
Sólidos Volátiles	mg/L	109,0	111,0	103,0	90,0	92,0	80,0
Sólidos totales disueltos	mg/L	113,0	112,0	86,0	0,0	0,0	0,0
Sólidos Sedimentables	mg/L	5,0	4,0	6,0	0,4	0,3	0,5
Conductividad	µS/cm	74,9	75,2	75,3	34,8	34,4	34,5
Temperatura	°C	16,8	16,9	17	16	16	16
<b>DETERMINACIÓN DE METALES</b>							
Plomo	mg/L	-0,1070	-0,3976	-0,8685	0,0000	0,0000	0,0001
Hierro	mg/L	0,4818	0,4778	0,4921	0,1377	0,1361	0,1276
Cadmio	mg/L	0,0355	0,0344	0,0284	0,0001	0,0000	0,0000
Plata	mg/L	0,0000	0,0000	0,0000	0,0130	0,0062	0,0024
Cobre	mg/L	0,0373	0,0416	0,0440	0,0362	0,0262	0,0246
Níquel	mg/L	0,0183	0,0026	0,0130	1,8434	1,7680	1,3798
Manganeso	mg/L	0,0000	0,0000	0,0000	0,0330	0,0289	0,0257
Sodio	mg/L	2,6980	2,7257	2,7555	0,5084	0,3988	0,2236
Potasio	mg/L	3,4610	3,4263	3,4335	0,6800	0,5917	0,6461
Magnesio	mg/L	0,9332	0,9327	0,9159	0,2487	0,2470	0,2424
Mercurio	mg/L	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	0,0000	0,0000
Zinc	mg/L	0,9252	0,9784	0,9697	0,4038	0,3961	0,4024
<b>CONSTITUYENTES INORGANICOS</b>							
Cloro residual	mg/L	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nitrogeno amoniacal	mg/L	5,04	4,48	5,60	4,48	5,04	3,92
Fosforo total	mg/L P	0,00	0,00	0,00	0,44	0,46	0,43
Sulfatos	mg/L SO4	0,00	0,00	0,00	2,20	3,10	2,90
Cloruros	mg/L Cl	18,99	17,99	19,99	0,00	0,00	0,00
pH	UND	7,82	7,85	7,85	7,09	7,12	7,10
NTK	mg/L N	1,68	1,12	1,68	0,00	0,00	0,00
Oxigeno disuelto	mg/L-O2	6,00	6,00	6,80	0,00	0,00	0,00
<b>COMPONENTES ORGANICOS</b>							
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	mg/L	30,0	30,0	30,0	0,0	0,0	0,0
Demanda Química de oxígeno (DQO)	mg/L	50,0	46,7	53,3	0,0	0,0	0,0

Anexo G

Resultados de ensayos realizados en el laboratorio externo ANTEK S.A



**Antek s.a.**  
LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL Y GEOQUÍMICA

Calle 25B No. 85B - 54  
PBX: (57)1-295 2333  
Email: anteksa@anteksa.com  
www.anteksa.com  
Bogotá, D.C. - Colombia



**IDEAM**  
INSTRUMENTACIÓN  
LABORATORIO ACREDITADO  
N.º. 8042-01-001

RT 6.10-65  
VERSIÓN 1  
Página 1 de 1

**REPORTE DE RESULTADOS DE LABORATORIO No. A-1015**

Bogotá D.C., Marzo 17 de 2010

**DATOS DEL CLIENTE**

EMPRESA : PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA	NIT.C.C. : N.E.
SOLICITANTE : JORGE LUIS ESTUPIÑAN	
CARGO : INGENIERO CIVIL	
DIRECCION : CRA 7 N° 40 - 62 EDIFICIO 50 LABORATORIO 105	CIUDAD : BOGOTÁ
TELEFONO : 3208320 EXT:4110	FAX : N.E.
E MAIL : jorgeluosi@holmbi.com	
COTIZACION : Q34-09-1848	FECHA : 2009-11-04
CONTRATO No. : N.E.	FECHA : 0000-00-00

**IDENTIFICACION DE LA MUESTRA**

MUESTRO A CARGO DE :	CLIENTE
PLAN DE MUESTREO ANTEK No. :	N.A.
PROCEDIMIENTO DE MUESTREO :	N.A.
IDENTIFICACION DE MONITOREO :	N.E.
NUMERO TOTAL DE MUESTRAS :	1
PRODUCTO :	AGUA LLUVIA
LUGAR DE MUESTREO :	CAMPO DE FUTBO.
FECHA DE MUESTREO :	2010-02-26
TIPO DE MUESTREO :	PUNTUAL
FECHA RECEPCION DE MUESTRAS :	2010-02-27
FECHA DE ANALISIS :	2010-02-27 AL 2010-03-13

**REPORTE DE RESULTADOS**

PARAMETRO	UNIDADES	TECNICA ANALITICA	DRENAJE PRINCIPAL	LÍMITES DECRETO 1074 DE MINISTERIO DE SALUD		
			1	Art. 56	Art. 58	Art. 40
VOC S	mg/L	CRONATOGRAFIA DE GASES - PID	ANTEK 11332	<0.001 B	N.E.	N.E.
BTEX	mg/L	CRONATOGRAFIA DE GASES - PID	<0.000 005	N.E.	N.E.	N.E.
DISULFURO DE CARBONO	mg/L	CRONATOGRAFIA DE GASES - PID	<0.000 1	N.E.	N.E.	N.E.

OBSERVACIONES:  
MÉTODO DE ANÁLISIS UTILIZADO: STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER & WASTEWATER 21st EDITION 2005, APHA, AWWA, WEF, EPA 8015D, 5021, 8010, 624.

ANEXOS A ÉSTE INFORME:  
ANEXO 1: REPORTE DE RESULTADOS DE CROMATOGRAFIA (2 Hojas)  
ANEXO 2: CROMATOGRAMAS (8 Hojas)

RESULTADOS VALIDOS UNICAMENTE PARA LA(S) MUESTRA(S) ANALIZADA(S)  
PROHIBIDA LA REPRODUCCION PARCIAL DE ESTE INFORME SIN AUTORIZACION ESCRITA DEL LABORATORIO

REVISÓ

*[Firma]*

LUIS ARTURO SUSPES  
Jefe de Laboratorio

AUTORIZÓ

*[Firma]*

MARTHA LUCIA CASTANEDA  
Directora Técnica y de Laboratorio

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA

2010 ABR 21 PM 2:22

DIR. DE RECURSOS FISICOS OFICINA ADM. DE CAMPUS

A-001 (PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA) Versión: 2010-03-20, 11:40 am



Data File C:\HPCHEM\1\DATA\100311\11852.D

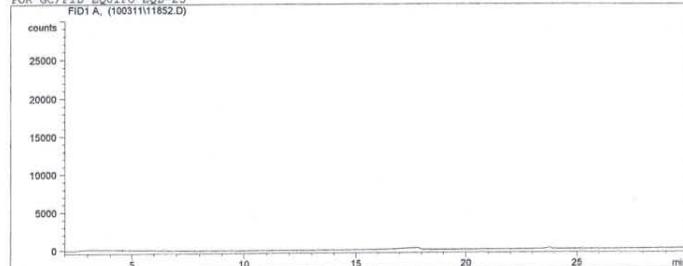
Sample Name: 11852

```

=====
Injection Date : 3/11/2010 10:58:00 AM      Seq. Line : 1
Sample Name    : 11852                      Location  : Vial 5
Acq. Operator  : VR                        Inj       : 1
                                           Inj Volume: Manually

Acq. Method    : C:\HPCHEM\1\METHODS\VOCISH.M
Last changed   : 2/19/2010 4:41:45 PM by VR
Analysis Method: C:\HPCHEM\1\METHODS\VOCISH.M
Last changed   : 3/11/2010 11:02:21 AM by VR
                (modified after loading)
    
```

DETERMINACION DE COMPUESTOS ORGANICOS VOLATILES (VOCs) EN AGUAS  
 POR GC/FID EQUIPO EQ1-25



Area Percent Report

```

Sorted By      : Signal
Calib. Data Modified : 3/11/2010 10:47:33 AM
Multiplier     : 1.0000
Dilution       : 1.0000
Do not use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs
    
```

Signal 1: FID1 A,

Peak #	RetTime [min]	Type	Width [min]	Area counts*s	Area %	Name
1	3.610		0.0000	0.00000	0.00000	Clorometano
2	3.880		0.0000	0.00000	0.00000	Cloruro de vinile
3	5.700		0.0000	0.00000	0.00000	Cloroetano
4	6.670		0.0000	0.00000	0.00000	Triclorofluorometano
5	7.770		0.0000	0.00000	0.00000	1,1-Dicloroetano
6	8.402		0.0000	0.00000	0.00000	Diclorometano
7	9.000		0.0000	0.00000	0.00000	trans-1,2-Dicloroetano
8	9.310		0.0000	0.00000	0.00000	1,1-Dicloroetano
9	10.380		0.0000	0.00000	0.00000	Metiletiletona
10	11.310		0.0000	0.00000	0.00000	Cloroformo
11	11.720		0.0000	0.00000	0.00000	1,1,1-Tricloroetano
12	12.100		0.0000	0.00000	0.00000	Tetracloruro de carbono
13	12.540		0.0000	0.00000	0.00000	Benceno
14	13.990		0.0000	0.00000	0.00000	Tricloroetileno
15	14.480		0.0000	0.00000	0.00000	1,2-Dicloropropano
16	15.110		0.0000	0.00000	0.00000	Bromodiclorometano
17	16.150		0.0000	0.00000	0.00000	cis-1,3-Dicloropropeno
18	16.960		0.0000	0.00000	0.00000	Tolueno

Instrument 1 3/11/2010 11:33:43 AM VR

Page 1 of 2

Data File C:\HPCHEM\1\DATA\100311\11852.D

Sample Name: 11852

Peak #	RetTime [min]	Type	Width [min]	Area counts*s	Area %	Name
19	17.460		0.0000	0.00000	0.00000	trans-1,3-Dicloropropeno
20	17.900		0.0000	0.00000	0.00000	1,1,2-Tricloroetano
21	18.300		0.0000	0.00000	0.00000	Tetracloroetano
22	18.870		0.0000	0.00000	0.00000	Dibromoclorometano
23	20.400		0.0000	0.00000	0.00000	Clorobenceno
24	20.660		0.0000	0.00000	0.00000	Etilbenceno
25	22.500		0.0000	0.00000	0.00000	Bromoformo
26	23.680		0.0000	0.00000	0.00000	1,1,2,2-Tetracloroetano
27	26.240		0.0000	0.00000	0.00000	1,4-Diclorobenceno
28	26.470		0.0000	0.00000	0.00000	1,3-Diclorobenceno
29	27.480		0.0000	0.00000	0.00000	1,2-Diclorobenceno

Totals : 0.00000 0.0000

Results obtained with enhanced integrator!  
 2 Warnings or Errors :

Warning : Calibration warnings (see calibration table listing)  
 Warning : Calibrated compound(s) not found

\*\*\* End of Report \*\*\*

Instrument 1 3/11/2010 11:33:43 AM VR

Page 2 of 2

Data File C:\HPCHEM\1\DATA\100310\STDBTEX-H.D

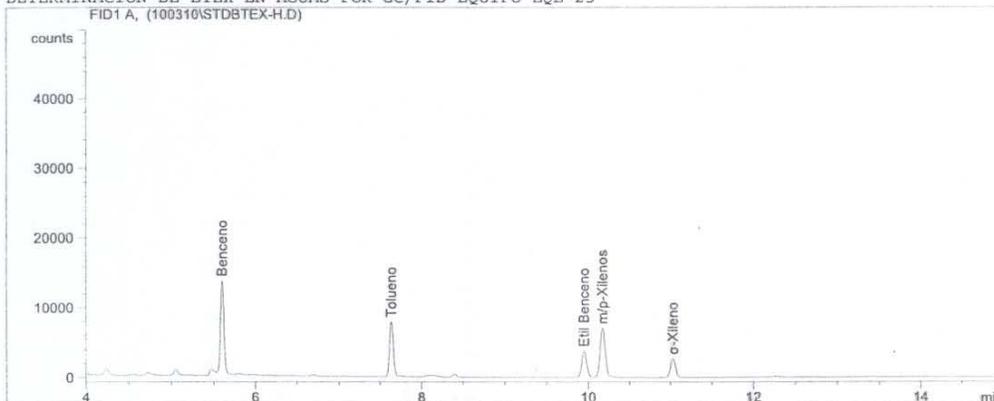
Sample Name: STDBTEX-H

```

=====
Injection Date : 3/10/2010 1:41:13 PM      Seq. Line : 2
Sample Name    : STDBTEX-H                 Location  : Vial 2
Acq. Operator  : VR/JP                     Inj       : 1
                                           Inj Volume: Manually

Acq. Method    : C:\HPCHEM\1\METHODS\BTEXH.M
Last changed   : 8/15/2009 6:04:21 PM by VR
Analysis Method : C:\HPCHEM\1\METHODS\BTEXH-V.M
Last changed   : 3/11/2009 3:17:23 PM by VR/JP
                (modified after loading)
    
```

DETERMINACION DE BTEX EN AGUAS POR GC/FID EQUIPO EQL-25  
 FID1 A, (100310\STDBTEX-H.D)



External Standard Report

```

=====
Sorted By      : Signal
Calib. Data Modified : Monday, September 07, 2009 10:12:45 AM
Multiplier     : 1.0000
Dilution       : 1.0000
Do not use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs
    
```

Signal 1: FID1 A,

RetTime [min]	Type	Area counts*s	Amt/Area	Amount [mg/kg]	Grp	Name
5.603	VV	4.10507e4	2.43601e-5	1.00000		Benceno
7.637	PB	2.48604e4	4.02245e-5	1.00000		Tolueno
9.951	BV	1.59179e4	6.28225e-5	1.00000		Etil Benceno
10.176	VB	3.11962e4	6.41105e-5	2.00000		m/p-Xilenos
11.031	BB	1.18849e4	8.41405e-5	1.00000		o-Xileno

Totals : 6.00000

Results obtained with enhanced integrator!

1 Warnings or Errors :

Warning : Calibration warnings (see calibration table listing)

\*\*\* End of Report \*\*\*

Data File C:\HPCHEM\1\DATA\100310\11852.D

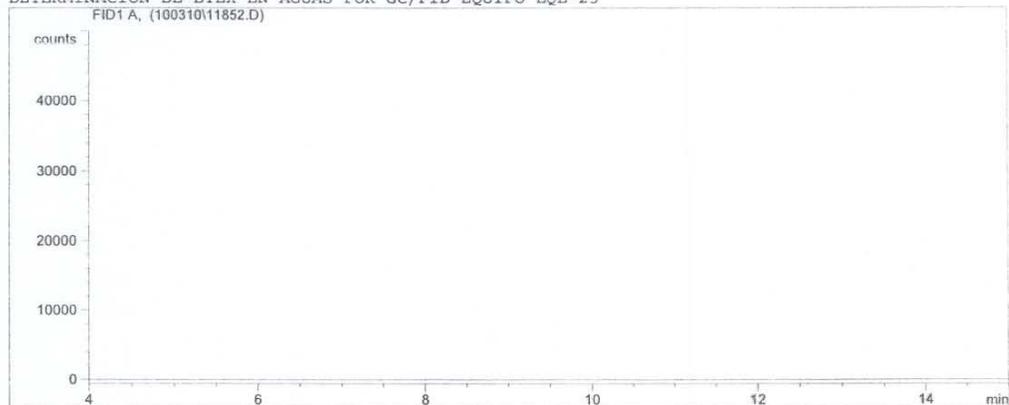
Sample Name: 11852

```

=====
Injection Date : 3/10/2010 2:03:29 PM      Seq. Line : 3
Sample Name    : 11852                      Location  : Vial 3
Acq. Operator  : VR/JP                      Inj       : 1
                                           Inj Volume: Manually

Acq. Method    : C:\HPCHEM\1\METHODS\BTEXH.M
Last changed   : 8/15/2009 6:04:21 PM by VR
Analysis Method: C:\HPCHEM\1\METHODS\BTEXH-V.M
Last changed   : 3/11/2009 3:18:03 PM by VR/JP
                (modified after loading)
    
```

DETERMINACION DE BTEX EN AGUAS POR GC/FID EQUIPO EQL-25



=====  
Area Percent Report  
=====

```

Sorted By      : Signal
Calib. Data Modified : Monday, September 07, 2009 10:18:02 AM
Multiplier     : 1.0000
Dilution       : 1.0000
Do not use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs
    
```

Signal 1: FID1 A,

Peak #	RetTime [min]	Type	Width [min]	Area counts*s	Area %	Name
1	5.603		0.0000	0.00000	0.00000	Benceno
2	7.637		0.0000	0.00000	0.00000	Tolueno
3	9.951		0.0000	0.00000	0.00000	Etil Benceno
4	10.176		0.0000	0.00000	0.00000	m/p-Xilenos
5	11.031		0.0000	0.00000	0.00000	o-Xileno

Totals : 0.00000 0.0000

Results obtained with enhanced integrator!  
2 Warnings or Errors :

Warning : Calibration warnings (see calibration table listing)  
Warning : Calibrated compound(s) not found

=====  
\*\*\* End of Report \*\*\*

Data File C:\HPCHEM\1\DATA\100211\STD SOLVE.D

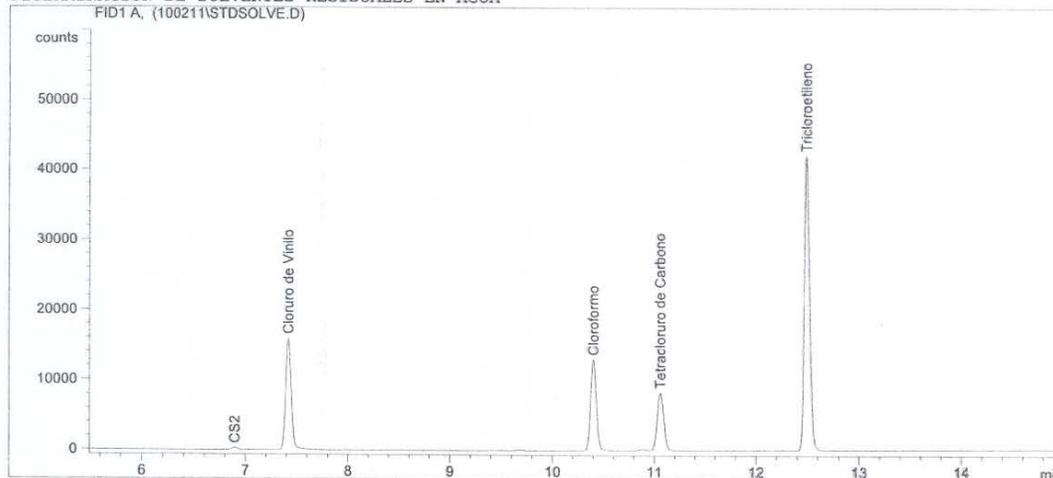
Sample Name: STDSOLVE

```

=====
Injection Date : 2/11/2010 2:32:01 PM      Seq. Line : 1
Sample Name    : STDSOLVENTES              Location  : Vial 1
Acq. Operator  : VICTOR ROMERO             Inj       : 1
                                           Inj Volume: 1 µl

Acq. Method    : C:\HPCHEM\1\METHODS\SOLV.M
Last changed   : 5/22/2008 6:15:34 PM by VICTOR ROMERO
Analysis Method: C:\HPCHEM\1\METHODS\SOLV.M
Last changed   : 2/7/2010 3:01:32 PM by VICTOR ROMERO
                (modified after loading)
    
```

DETERMINACION DE SOLVENTES RESIDUALES EN AGUA



Area Percent Report

```

=====
Sorted By      : Signal
Calib. Data Modified : 12/2/2008 4:52:33 PM
Multiplier     : 1.0000
Dilution       : 1.0000
Use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs
    
```

Signal 1: FID1 A,

Peak #	RetTime [min]	Type	Width [min]	Area counts*s	Area %	Name
1	6.894	PBA	0.0546	1267.08386	0.42046	CS2
2	7.420	PBA	0.0593	6.04256e4	20.05102	Cloruro de Vinilo
3	10.404	BB	0.0605	5.16987e4	17.15517	Cloroformo
4	11.059	BEA	0.0686	3.72447e4	12.35891	Tetracloruro de Carbono
5	12.499	BB	0.0558	1.50723e5	50.01444	Tricloroetileno

Totals : 3.01359e5

Data File C:\HPCHEM\1\DATA\100211\11852.D

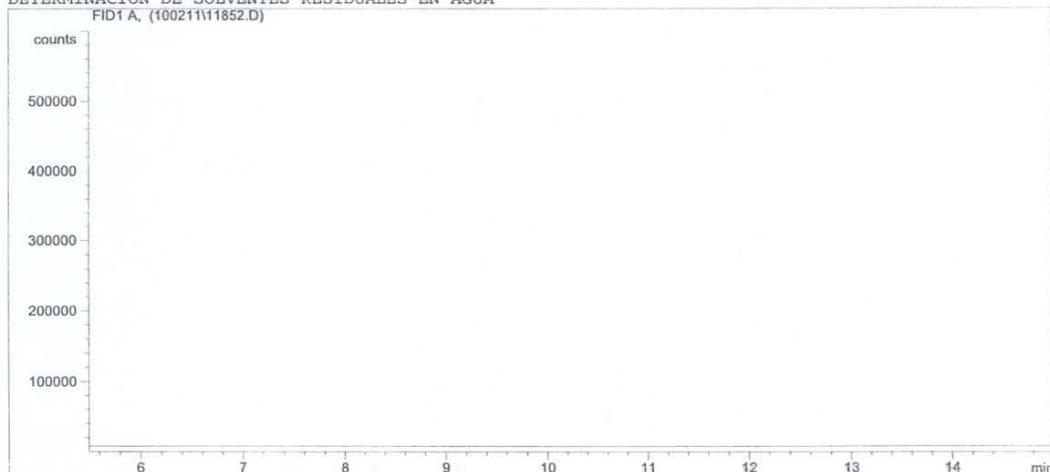
Sample Name: 11852

```

=====
Injection Date : 2/11/2010 3:02:15 PM      Seq. Line : 5
Sample Name    : 11852                      Location  : Vial 4
Acq. Operator  : VICTOR ROMERO              Inj      : 1
                                           Inj Volume: 1 µl

Acq. Method    : C:\HPCHEM\1\METHODS\SOLV.M
Last changed   : 2/11/2008 5:30:10 PM by VICTOR ROMERO
Analysis Method: C:\HPCHEM\1\METHODS\SOLV.M
Last changed   : 2/7/2010 3:04:09 PM by VICTOR ROMERO
                (modified after loading)
    
```

DETERMINACION DE SOLVENTES RESIDUALES EN AGUA



Area Percent Report

```

=====
Sorted By      : Signal
Calib. Data Modified : 12/2/2008 4:52:33 PM
Multiplier     : 1.0000
Dilution       : 1.0000
Use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs
    
```

Signal 1: FID1 A,

Peak #	RetTime [min]	Type	Width [min]	Area counts*s	Area %	Name
1	6.890		0.0000	0.00000	0.00000	CS2
2	7.420		0.0000	0.00000	0.00000	Cloruro de Vinilo
3	10.400		0.0000	0.00000	0.00000	Cloroformo
4	11.050		0.0000	0.00000	0.00000	Tetracloruro de Carbono
5	12.500		0.0000	0.00000	0.00000	Tricloroetileno

Totals : 0.00000

\*\*\* End of Report \*\*\*

Anexo H

Resultados de ensayos realizados en el laboratorio externo ANALQUIM LTDA



**ANALQUIM LTDA.**  
ANÁLISIS QUÍMICOS Y TRATAMIENTO DE AGUAS



---

1 de 1  
ANQ-316-10

Bogotá D.C., Agosto 3 de 2010

Señores:  
**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**  
Atn: DIR. ING. ANDRES TORRES  
Ciudad

**Referencia:** Resultados de Laboratorio

Anexo remito los Resultados de caracterización Agua Lluvia con sus códigos de laboratorio 29494 al 29496 y 30273 al 30284,

Quedamos atentos a cualquier inquietud.

Atentamente,

  
**SANDRA ELIZABETH SANCHEZ TORRES**  
Resultados





















