

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RECOLECCIÓN Y MEDICIÓN DE  
PARTÍCULAS DE POLVOS SEDIMENTABLES EN EL LABORATORIO  
AMBIENTAL DE LA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE LA  
GUAJIRA - (CORPOGUAJIRA)**

**JESÚS ALBERTO VIZCAÍNO ÁLVAREZ**

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL, CIVIL Y QUÍMICA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
PAMPLONA  
2019**

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RECOLECCIÓN Y MEDICIÓN DE  
PARTÍCULAS DE POLVOS SEDIMENTABLES EN EL LABORATORIO  
AMBIENTAL DE LA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE LA  
GUAJIRA - (CORPOGUAJIRA)**

**JESÚS ALBERTO VIZCAÍNO ÁLVAREZ**

**Trabajo de grado para optar al título de  
INGENIERO QUÍMICO**

**Director**

**ERIK GERMAN YANZA HURTADO M.Sc.  
INGENIERO QUÍMICO**

**Codirectora**

**VICTORIA EUGENIA CABALLERO ROMERO  
INGENIERA QUÍMICA**

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL, CIVIL Y QUÍMICA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
PAMPLONA**

**2019**

## DEDICATORIA

Es impresionante como pasa el tiempo, tal parece que ayer solo era un muchacho iniciando un sueño y hoy me encuentro aquí, tratando de escribir unas líneas que refleje todo lo que siento en estos momentos y que quedarán plasmadas para la eternidad en este documento.

Sin embargo, nunca dejé de darle gracias a Dios por todo lo que me ayudó a conseguir y por eso no me cabe duda que este logro en mi vida se lo dedico a ese ser superior, Él que me dio a la persona más importante en mi vida y a ella va mi segunda dedicatoria, a ti madre hermosa Magalis Esther Álvarez Cantillo, porque fuiste y seguirás siendo ese apoyo incondicional que he tenido durante toda mi vida, me has enseñado muchos valores y dedicaste toda tu vida a velar por el bienestar de tus hijos, gracias a todo esto, hoy me encuentro con los ojos llenos de lágrimas cumpliendo este sueño del cual estoy despertando y se está volviendo realidad.

Hermanitos, no me olvido de ustedes, gracias por confiar en mí en cada decisión que tomo, sé que parecía ser alguien sin sentimientos al momento decidir alejarme de ustedes, pero lo hacía para un bien común, ya que este logro no es solo mío, es de todos nosotros y quiero que se sientan orgullosos porque sin ustedes en mi vida no creo que esto hubiese sido posible.

Compañeros, que con el pasar del tiempo se fueron convirtiendo en amigos y compañeros de batallas, gracias por esas noches de estudios, esos cafés llenos de historias y reuniones llenas de sonrisas, sé que en ese momento estábamos a punto de tirar la toalla y de lanzar palabras al aire (¡ay lo que fue, fue!), en serio les agradezco cada segundo que pasé con ustedes, mi corazón está tatuado con sus nombres y nadie los podrá borrar de ahí.

## AGRADECIMIENTOS

Primero que todo, gracias Dios por darme vida y salud, por mostrarme el camino cuando todo era oscuridad y quería desviarme, por darme fuerzas y ganas de vivir cuando sentía que no podía más, por acompañarme en cada paso que doy y sé que me acompañará en lo que me resta de vida, no cabe duda que sos grandes.

Madre, te agradezco toda esa entrega que tuviste conmigo, sé que sin ti en mi vida todo hubiese sido más difícil, prometo estar contigo y hacerte la mujer más feliz en este mundo, porque te lo mereces.

Darle gracias a todas esas personas que aportaron un granito de arena, que, con tan solo un mensaje o una llamada, sentía esa fuerza que me hacía sentir como una persona importante para ustedes, nunca olvidaré cada instante que compartí con ustedes.

Gracias a todo el cuerpo de docentes de la Universidad de Pamplona, en especial los docentes del programa de Ingeniería Química, por llenar mi mundo de conocimientos, por dedicar su vida a forjar diamantes en brutos para convertirlos en una piedra preciosa. Solo quiero que tengan claro que su profesión es la mejor.

Por último y no menos importante debo darle gracias a mi director de trabajo de grado Erick German Yanza Hurtado, a mi Codirectora Victoria Eugenia Caballero Romero y a todo el equipo de trabajo de Corpoguajira en especial al Laboratorio Ambiental, por darme la oportunidad de compartir sus conocimientos y reforzar los míos, estoy eternamente agradecido con todos ustedes, Dios los bendiga.

## TABLA DE CONTENIDO

	pág.
LISTA DE TABLAS .....	VII
LISTA DE FIGURAS .....	VIII
RESUMEN.....	11
INTRODUCCIÓN .....	13
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN .....	15
2. OBJETIVOS.....	17
2.1 OBJETIVO GENERAL .....	17
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
3. MARCO REFERENCIAL .....	18
3.1 MARCO LEGAL .....	18
3.2 ANTECEDENTES.....	21
4. MARCO TEÓRICO .....	25
4.1 AIRE.....	25
4.1.1 CONTAMINACIÓN DEL AIRE .....	25
4.2 MATERIAL PARTICULADO.....	25
4.2.1 CATEGORIAS DE MATERIAL PARTICULADO .....	26
4.3 VALIDACIÓN .....	26
4.3.1 PARAMETROS DE VALIDACIÓN. ....	28
4.3.1.1 Exactitud.....	28
4.3.1.2 Precisión .....	29
4.3.1.3 Repetibilidad .....	29
4.3.1.4 Reproducibilidad .....	29
4.3.1.5 Límite de Detección .....	30

4.3.1.6 Límite de Cuantificación.....	30
4.3.1.7 Incertidumbre de Medida .....	30
5. METODOLOGÍA .....	32
5.1 EQUIPOS.....	32
5.2 REACTIVOS .....	32
5.3 ESTABLECIMIENTO DEL PROTOCOLO DEL MÉTODO .....	33
5.4 MONTAJE DEL EQUIPO A UTILIZAR PARA EL MUESTREO DE PARTÍCULAS DE POLVOS SEDIMENTABLES.....	34
5.5 VALIDACIÓN DEL MÉTODO DE PARTÍCULAS DE POLVOS SEDIMENTABLES.....	35
5.5.1 Límite de Detección y Cuantificación .....	36
5.5.2 Exactitud .....	36
5.5.3 Estimación de La Incertidumbre .....	37
5.5.4 Precisión .....	40
5.6 DETERMINACIÓN DE LA TAZA DE DEPOSICIÓN DE PARTÍCULAS DE POLVOS SEDIMENTABLES EN EL LUGAR DE MONITOREO.....	40
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	41
6.1 PROTOCOLO PARA PARTICULAS DE POLVOS SEDIMENTABLES .....	41
6.2 MONTAJE DE EQUIPO PARA MONITOREO DE POLVOS SEDIMENTABLES .....	46
6.3 VALIDACIÓN DEL MÉTODO.....	55
6.4 TAZA DE DEPOSICIÓN .....	67
7. CONCLUSIONES.....	68
8. BIBLIOGRAFIA.....	69
9. ANEXOS.....	73

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Costos relacionados para la construcción de los equipos recolectores. ...	55
Tabla 2. Cálculo del Límite de Detección y Límite de Cuantificación.....	56
Tabla 3. Cálculo del Límite de Detección y Límite de Cuantificación.....	57
Tabla 4. Cálculo de la Exactitud de las Mediciones para SST y MÍ. ....	59
Tabla 5. Cálculo de la Exactitud de las Mediciones Para SDT y MST. ....	60
Tabla 6. Incertidumbre de la Balanza, para SST Y SDT.....	62
Tabla 7. Incertidumbre del Material Volumétrico Utilizado. ....	62
Tabla 8. Incertidumbre Total, para SST y SDT. ....	62
Tabla 9. Incertidumbre Proveniente de la Balanza para MI y MST.....	63
Tabla 10. Incertidumbre Total, Para MI Y MST.....	63
Tabla 11. Incertidumbre Total, Muestras SST. ....	64
Tabla 12. Incertidumbre Total, Muestras SDT. ....	64
Tabla 13. Precisión del Método SST con las muestras reales .....	65
Tabla 14. Precisión del Método SDT con las muestras reales.....	66
Tabla 15. Taza de Deposición En las Estaciones de monitoreo .....	67

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Representación geométrica de un triángulo equilátero para obtener un cono truncado. ....	34
Figura 2. Representación geométrica con los incógnitas a determinar y obtener la mampara del equipo. ....	46
Figura 3. Representación geométrica del triángulo base para el cono truncado. ..	47
Figura 4. Representación gráfica de la vista superior del cono truncado con los valores de la generatriz y distancia calculados. ....	48
Figura 5. Vista Superior del Cono Truncado con el Angulo de Corte final .....	49
Figura 6. Representación de media lámina galvanizada y los cortes para obtener la mampara.....	50
Figura 7. Diseño en el plano del equipo, para la recolección de partículas de polvos sedimentables.....	51
Figura 8. Diferentes vistas del equipo de muestreo diseñado.....	52
Figura 9. Muestreadores construidos por equipo técnico. ....	53
Figura 10. Estaciones del Sistema de Vigilancia para la Calidad del Aire. ....	54



## LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. PROTOCOLO PARA EL ANALISIS DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES.....	73
ANEXO B. PROTOCOLO PARA EL ANALISIS DE SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES.....	77
ANEXO C. PROTOCOLO PARA PARTICULAS DE POLVOS SEDIMENTABLES SEGÚN LA NORMA NTC 3662.....	82
ANEXO D. IMÁGENES DE FILTRADO CON CAOLÍN POR SST Y MÍ.....	88
ANEXO E. DATOS PARA DETERMINAR LA INCERTIDUMBRE EN LAS MUESTRAS RECOLECTADAS EN LAS ESTACIONES DE MONITOREO.....	89

## RESUMEN

Se implementó un Sistema de Recolección de Partículas de Polvos Sedimentables según la Norma Técnica Colombiana NTC 3662, para el cual fue creado un protocolo basado en los lineamientos del Sistema de Gestión de la Calidad de Corpogujira. El equipo fue construido de acuerdo a las dimensiones de la norma citada anteriormente, modelando el equipo con la ayuda del software SolidWorks, el cual se utilizó como guía para poder ensamblar el equipo con mayor facilidad.

Para mayor credibilidad en los resultados, se realizó la verificación del ensayo según el procedimiento para validación de métodos del Laboratorio Ambiental de Corpogujira, teniendo en cuenta que la empresa maneja dos métodos estandarizados, llamados sólidos disueltos y suspendidos totales; posteriormente, se realizó una comparación con la Norma NTC 3662, que nos indica como calcular el material insoluble y soluble total. Mediante la determinación de la incertidumbre y de cálculos estadísticos, se estableció que los métodos aptos para el análisis de polvos de partículas sedimentables en el Laboratorio Ambiental de Corpogujira son los ensayos descritos en el libro Métodos Estandarizados para el análisis de aguas y aguas residuales (SM).

El proceso de monitoreo se realizó en conjunto con el sistema de vigilancia para la calidad del aire de Cerrejón en sus estaciones de monitoreo de Barrancas, Campo Alegre, Provincial y Papayal. Cerrejón, ha venido implementando este ensayo desde el año 2006. Realizando los cálculos de la tasa de deposición, arrojando como resultados que cuatro de tres estaciones de monitoreo, superan límite permitido por la Organización Mundial de la Salud.

**Palabras Claves:** Partículas, Sedimentación, Validación, Contaminación, Aire.

## ABSTRACT

A Settling System for Sedimentable Dust Particles was implemented according to Colombian Technical Standard NTC 3662, for which a protocol was created based on the guidelines of the Quality Management System of Corpoguaajira. The equipment was built according to the dimensions according to the aforementioned standard, modeling the equipment with the help of SolidWorks software, which was considered as a guide to be able to assemble the equipment with greater ease.

For greater credibility in the results, the test was verified according to the procedure for the validation of the methods of the Environmental Laboratory of Corpoguaajira, taking into account the company that manages the two standardized methods, affected in a flexible and total suspended manner; Subsequently, a comparison was made with Standard NTC 3662, which tells us how to calculate the total insoluble and soluble material. Through the determination of uncertainty and statistical calculations, the methods suitable for the analysis of sedimentable particle dust in the Environmental Laboratory of Corpoguaajira are specified are the tests modified in the book Standardized Methods for the analysis of water and wastewater.

The monitoring process was carried out in conjunction with the Cerrejón air quality monitoring system at its Barrancas, Campo Alegre, Provincial and Papayal stations. Cerrejón, has been implementing this trial since 2006. Performing the calculations of the deposition rate, resulting in four of the three monitoring stalls, exceeding the limit allowed by the World Health Organization.

Keywords: Particles, Sedimentation, Validation, Pollution, Air.

## INTRODUCCIÓN

La contaminación ambiental es uno de los inconvenientes más inflexibles a nivel mundial, porque está afectando la calidad de vida de las personas, estudios han demostrado que la contaminación del aire es una de las principales causas de enfermedades respiratorias (Rosenson, Mintz, Ali, & Fordham, 1991) (Livio Lattanzio, 2018). Según la Organización Mundial de la Salud una de cada ocho muertes a nivel mundial es ocasionada por la contaminación del aire (IDEAM - Instituto de Hidrología, 2014).

La contaminación atmosférica es la emisión de cualquier tipo de sustancia que pueda modificar las propiedades físicas o químicas del aire, sustancias tales como: gases de efecto invernadero, residuos de aerosoles, material particulado proveniente de la minería, agricultura, procesos de combustión, actividades volcánicas, etc. que pueden provenir de fenómenos naturales o por la intervención del hombre (Corleto & Dania, 2012).

Los denominados materiales particulados son un conjunto de partículas sólidas y líquidas, emitidas de forma directa al aire, dentro de los cuales se encuentran el hollín de Diesel, polvo de vías, polvo de la agricultura y las partículas resultantes de procesos productivos. Según la normatividad colombiana NTC 3662, el Material Particulado no sedimenta en períodos cortos de tiempo, sino que permanece suspendido en el aire debido a su tamaño y densidad (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010), (ICONTEC 1994). Estas partículas en suspensión, son una compleja mezcla de productos químicos y/o elementos biológicos, como metales, sales, materiales carbonosos, orgánicos volátiles, compuestos volátiles, hidrocarburos aromáticos policíclicos y endotoxinas que pueden interactuar entre sí formando otros compuestos (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2009; Arciniégas, 2012; Matus C. & Oyarzún G., 2019).

Los principales parámetros para validar una metodología analítica para certificar la veracidad de los resultados incluyen ensayos de precisión, evaluaciones sistemáticas, comparaciones Interlaboratorios, linealidad, límite de detección, límite de cuantificación y finalmente la incertidumbre. La estimación de la incertidumbre es uno de los principales factores de interés de la validación debido a su importancia para identificar las fuentes que pueden afectar la medición y así mostrar la calidad de los datos y demostrar la adecuación del método analítico, además, es obligatorio cuando un laboratorio está regido bajo la Norma ISO 17025 del 2017 (Ellison & Williams, 2012).

La medición de partículas de polvos sedimentables, por el método de Bergerhoff, es uno de los análisis que cita el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial en el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire. Este ensayo a realizar es un parámetro de gran importancia para saber la calidad del aire que respiramos en Colombia.

La implementación del presente trabajo en el Laboratorio Ambiental de Corpoguajira es de gran apoyo para contribuir de forma significativa al sistema de vigilancia de calidad del aire, ya que le puede brindar a toda la comunidad un servicio de gran utilidad y a Corpoguajira otro método normalizado, que contribuye al crecimiento continuo de la empresa.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

La intervención humana en la naturaleza ha generado impactos, que afectan negativamente la integridad de los ecosistemas, de los cuales depende en gran parte el bienestar de la humanidad, y que, en algunos casos, han llegado a amenazar la salud de los seres vivos del planeta, tal como se evidencia en forma impactante con el calentamiento global (Pereira, Carvajal, Milanés Batista, & Botero, 2019).

La contaminación del aire en la actualidad es plenamente reconocida como una dificultad de salud pública y un problema social, la extensa literatura científica disponible sobre este tema incluye estudios epidemiológicos, clínicos y toxicológicos que han documentado sistemáticamente una amplia gama de resultados de salud, desde síntomas respiratorios hasta causas cardiopulmonares de mortalidad y cáncer de pulmón (Losacco & Perillo, 2018) (MAYHUA, 2017). La contaminación del aire es causante de la muerte de una de cada ocho personas a nivel internacional según la Organización Mundial de La Salud y el IDEAM (IDEAM, 2014).

Los ingenieros químicos trabajan con equipos, que son emisores de este tipo de contaminación como lo son: Hornos, trituradoras, molinos, afiladores, estufas, calcinadores, calderas, incineradores, cintas transportadoras, acabados textiles, mezcladores, tolvas, cubilotes y cabinas de aspersión (Presidencia, 2010) (Res, 2005) (Huallaro, Gutarra, Cabrera, & Valderrama, 2008). Por eso, es necesario buscar la manera de cuidar y preservar tanto el medio ambiente como la salud pública, por lo tanto, por medio de esta investigación, se busca estandarizar un método sobre material particulado sedimentable, una de las fuentes que contamina el aire que respiramos.

El IDEAM, otorgó al Laboratorio Ambiental de Corpoguajira la acreditación para producir información cuantitativa, física y química para los análisis ambientales requeridos por la Corporación, bajo los lineamientos de la norma NTC-ISO/IEC 17025 “Requisitos Generales de Competencia de Laboratorios de Ensayo y Calibración”, versión 2005 y se está actualizando bajo la versión 2017. La Acreditación fue concedida a través de la Resolución 1067 de 2012, expedida por el IDEAM, por medio de la misma el Laboratorio de Corpoguajira podrá adelantar estudios en diferentes variables de matriz agua y aire, entre ellas conductividad eléctrica, refluo cerrado y colorimétrico, sólidos suspendidos totales, toma de muestras para la determinación de partículas suspendidas totales y material particulado como PM<sub>10</sub>.

Este proyecto aportará al departamento de La Guajira mediante el Laboratorio Ambiental de Corpoguajira, un método de medición de polvos sedimentables estandarizado con el objetivo de prestar su servicio a empresas que emiten material particulado a la atmósfera y que, mediante los resultados obtenidos, se puedan tomar acciones correctivas para disminuir sus emisiones; además emitirá resultados confiables al IDEAM, para aportar a su base de datos sobre la calidad del aire en La Guajira.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

- Implementar un Sistema de Recolección y Medición de Partículas de Polvos Sedimentables en el Laboratorio Ambiental de la Corporación Autónoma Regional de La Guajira.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Establecer el Protocolo del Método según los Lineamientos de calidad del Laboratorio Ambiental de Corpoguajira.
- Implementar el Montaje del equipo a utilizar para el muestreo de partículas de polvos sedimentables.
- Validar el Método de Partículas de Polvos Sedimentables con el fin de garantizar la emisión de resultados confiables.
- Determinar la Taza de Deposición de Partículas de Polvos Sedimentables en el lugar de monitoreo.



### **3. MARCO REFERENCIAL**

#### **3.1 MARCO LEGAL**

La acreditación del Laboratorio Ambiental de Corpoguajira, esta auditada bajo la norma NTC-ISO/IEC 17025:2005 y está en caminata a la actualización NTC-ISO/IEC 17025:2017 “Requisitos Generales de Competencia de Laboratorios de Ensayo y Calibración”, la cual establece los requisitos y parámetros generales para la competencia en la realización de ensayos y/o calibraciones, incluida la toma de muestra, métodos normalizados, no normalizados y desarrollados por el mismo laboratorio. Siendo aplicable a todos los laboratorios, independientemente de la cantidad de empleados. Por lo que cuando un laboratorio no realiza una o varias de las actividades contempladas en esta Norma Internacional, los requisitos de los apartados correspondientes no se aplican. (ICONTEC, 2005) (ICONTEC, 2017).

Específicamente en el apartado 7.2.2 de dicha norma se establecen los objetos sobre la validación y cita lo siguiente:

7.2.2.1 El laboratorio debe validar los métodos no normalizados, los métodos desarrollados por el laboratorio y los métodos normalizados utilizados fuera de su alcance previsto o modificado de otra forma. La validación debe ser tan amplia como sea necesaria para satisfacer las necesidades de la aplicación o del campo de aplicación dado.

La evaluación de la incertidumbre de medición es un aspecto clave para certificar que un método emite resultados confiables y lo cual referenciado en el punto 7.6 que cita lo siguiente:

7.6.1 Los laboratorios deben identificar las contribuciones a la incertidumbre de medición. Cuando se evalúa la incertidumbre de medición se deben tener en cuenta

todas las contribuciones que son significativas, incluidas aquellas que surgen del muestreo, utilizando los métodos apropiados del análisis.

7.6.3 Un laboratorio que realiza ensayos debe evaluar la incertidumbre de medición. Cuando el método de ensayo no permite una evaluación rigurosa de la incertidumbre de medición, se debe realizar una estimación basada en la comprensión de los principios teóricos o experiencia práctica de la realización del método.

Dentro del marco legal también es importante citar aquellos decretos, leyes o regulaciones que están contemplados bajo los reglamentos de los ministerios que lo requieran, principalmente del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, el que según el artículo 1 del Decreto 570 es el rector de la gestión del ambiente y de los recursos naturales renovables, encargado de orientar y regular el ordenamiento ambiental del territorio y de definir las políticas y regulaciones a las que se sujetarán la recuperación, conservación, protección, ordenamiento, manejo, uso y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales renovables y del ambiente de la nación, a fin de asegurar el desarrollo sostenible, sin perjuicio de las funciones asignadas a otros sectores.

El Laboratorio Ambiental de Corpoguajira, matriz aire ubicada en el municipio de Fonseca - La Guajira donde se llevan a cabo ensayos de material particulado PM<sub>10</sub> reporta su resultado al IDEAM el cual analiza los datos y los compara con la Resolución 2254 del 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017). Referencia que en los artículos 70 y 80 de la constitución política, consagran el derecho colectivo a gozar de un ambiente sano y que el deber del Estado es proteger la diversidad e integridad del ambiente, planificar el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales a fin de garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución y prevenir los factores de deterioro ambiental.

Artículo 2. Niveles máximos permisibles de contaminantes criterio. En la tabla No. 1 se establecen los niveles máximos permisibles a condiciones de referencia para contaminantes criterio que regirán a partir del primero de enero del 2018; dicha tabla se encuentra en la resolución nombrada anteriormente.

Artículo 5. Diseño, re-diseño y operación de sistemas de la calidad SVCA. Todo SVCA fijo que opere en el territorio nacional deberá contar con un documento de diseño o rediseño y de operación de acuerdo con lo establecido en el protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire.

Artículo 6. Monitoreo de la calidad del aire realizado por las autoridades ambientales competentes. Para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire, las autoridades ambientales competentes deberán cumplir con lo establecido para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire.

Parágrafo 1. Con base a la información generada por los SVCA, las autoridades ambientales deberán elaborar o modificar los programas de reducción de la contaminación del aire.

Parágrafo 2. Cuando las concentraciones de los contaminantes del aire exceden los niveles máximos permisibles definidos en las tablas 1, 2 o 3 según corresponda, las autoridades ambientales competentes informarán a las autoridades de salud y demás organismos responsables de la gestión de riesgo para que adopten las medidas a que haya lugar, entre ellas, la divulgación de medidas para reducir la exposición.

Para la medición de partículas de polvos sedimentables que se va a implementar en el presente trabajo para apoyar al sistema de vigilancia de la calidad del aire basado en el protocolo para el monitoreo y seguimiento para la calidad del aire en el apartado 8.5.2.6 que referencia lo siguiente:

#### 8.5.2.6 Otros equipos de apoyo a los SVCA

Medición de polvo sedimentable: el material particulado emitido por las diferentes fuentes, puede clasificarse principalmente en dos: suspendido y sedimentable; el material particulado suspendido corresponde al denominado PST, que a su vez puede ser subdividido en otros tipos de material particulado dependiendo de su diámetro aerodinámico ( $PM_{10}$   $PM_{2,5}$  o  $PM_1$ ). Medición que se implementará teniendo en cuenta el método de Bergerhoff (el cual corresponde a un método por vía húmeda) y la norma técnica colombiana NTC 3662 (Presidencia, 2010) (ICONTEC 1994).

### 3.2 ANTECEDENTES

Corpoguajira es un ente corporativo de carácter público, dotado de autonomía administrativa y financiera, patrimonio propio y personería jurídica. Como máxima autoridad ambiental en el departamento de La Guajira, encargada de administrar los recursos naturales renovables y el ambiente, generando desarrollo sostenible en el área de su jurisdicción, la Corporación Autónoma Regional de La Guajira, Corpoguajira, propende por la satisfacción de quienes acceden a ella, sin distinción de etnia, ubicación geográfica o condición social, a través de servicios de calidad que involucran la mejora continua.

La ejecución de las políticas, planes, programas y proyectos sobre medio ambiente y recursos naturales renovables, así como dar cumplida y oportuna aplicación a las prácticas legales vigentes sobre su disposición, administración, manejo y aprovechamiento, conforme a las regulaciones, pautas y directrices expedidas por el Ministerio de Ambiente, es el objeto de Corpoguajira; la cual es una Corporación que en 1983 fue creada, adscrita al Departamento Nacional de Planeación, mediante Decreto 3453 que empezó a funcionar a partir de 1985, con jurisdicción en todo el departamento de La Guajira y con sede en Riohacha; uno de sus

principales objetivos preservar los recursos naturales y del laboratorio emitir resultados confiables (“Corporación Autónoma Regional de La Guajira,” 2019).

A lo largo del tiempo, uno de los grandes problemas a nivel nacional e internacional es la contaminación del aire que respiramos, la cual tiene sus inicios cuando el hombre aparece en la tierra y empieza a utilizar el fuego. (Montero, 2011).

Son muy pocos los estudios encontrados sobre material particulado sedimentables tanto así que, Colombia no cuenta con una resolución que indique el límite permisible en el ambiente de material particulado sedimentable. La mayoría de las investigaciones encontradas se han dedicado a material particulado suspendido tales como  $PM_{10}$  y  $PM_{2,5}$ . Como lo hizo la universidad de La Guajira que en el año 2016 que realizó una caracterización química de material particulado  $PM_{10}$  en la atmósfera de la ciudad de Riohacha La Guajira – Colombia, donde su primordial objetivo era saber la composición química de las partículas atmosféricas a través de espectrofotometría UV-VIS y espectrometría de masas (Doria Argumedo & Fagundo Castillo, 2017).

Otro estudio que se realizó sobre material particulado suspendido, se dio en Estados Unidos en el Departamento de Salud en el estado de Nueva York. Donde se realizó una evaluación del impacto de las partículas finas ( $PM_{2,5}$ ) en las enfermedades crónicas respiratorias y cardiovasculares en el área metropolitana de la ciudad de Nueva York utilizando estimaciones del modelo bayesiano jerárquico y este estudio tiene como objetivo analizar el impacto sobre la salud a personas expuestas a material particulado cuyo diámetro aerodinámico es de  $2,5 \mu m$ , utilizan un modelo bayesiano jerárquico (HBM) para generar estimaciones de  $PM_{2,5}$  en áreas con y sin monitores de calidad del aire mediante la combinación de concentraciones de  $PM_{2,5}$  medidas por monitores, estimaciones de concentración de  $PM_{2,5}$  derivadas de datos de profundidad óptica de aerosoles satelitales (AOD)

y predicciones del modelo de Calidad del aire a escala comunitaria (CMAQ) de concentraciones de  $PM_{2.5}$  (Matus C. & Oyarzún G., 2019).

A pesar de la poca información sobre material particulado sedimentable; la Universidad del Salvador realizó una comparación de los métodos de Bergerhoff y placas receptoras para la cuantificación de polvo atmosférico sedimentable en las instalaciones de la universidad en la Ciudad del Salvador en Centro América en el año 2012. Donde el método de Bergerhoff obtuvo mejores resultados que el de placas receptoras, ratificando que el método por vía húmeda es la técnica más recomendada para este tipo de mediciones, mientras que el de placas de receptoras es de muy poco uso y que en ese entonces solo se implementaba en el país de Perú (Corleto & Dania, 2012).

En la Facultad de Ciencias Químicas de la Escuela de Ingeniería Ambiental de la Universidad de Cuenca en Ecuador se realizó en el 2017, una determinación y caracterización de material particulado sedimentable en el casco urbano del Cartón de Portovelo, que es una empresa dedicada a la explotación minera y según el censo de población y vivienda del año 2010, dictó que tras sus labores trae consigo la emisiones de gases de contaminantes y material particulado a la atmósfera, descargas de relaves a los ríos y generación de residuos sólidos. Debido a todas estas emisiones un estudiante en ese entonces decidió enfocar su trabajo de investigación para obtener el título de Ingeniero Ambiental. La investigación consistió en establecer una línea base de contaminación del aire por material particulado en 12 sitios del casco urbano de la empresa ya antes mencionada y determinar el contenido de metales pesados y observar si dicha empresa cumplía o no con los niveles máximos permisibles por la Organización Mundial de la Salud (Bravo Vásquez, 2017).

En la Universidad Nacional Agraria de la selva en Perú, donde un estudiante de Ingeniería Ambiental, presentó como trabajo de grado una investigación partículas

sedimentables del aire y su influencia en las infecciones respiratorias agudas en la ciudad de Tayabamba. Que consistió en ubicar los equipos en lugares estratégicos en la ciudad, donde el flujo vehicular fuera constante. Tomando muestras mensuales durante tres meses (febrero, marzo, abril), dando como resultados que en el mes de marzo se tuvo una mayor concentración de partículas sedimentables. (Labajos, 2014).

## **4. MARCO TEÓRICO**

### **4.1 AIRE**

El aire es el fluido que conforma la atmósfera de la Tierra, está compuesto por una mezcla gaseosa, y homogénea de partículas sólidas y líquidas, donde su composición normal es 20% de oxígeno, 77% de nitrógeno y proporciones variables de gases inertes y vapor de agua en relación volumétrica (Presidencia, 2010). (OMS, 2005) (MAYHUA, 2017).

#### **4.1.1 CONTAMINACIÓN DEL AIRE**

Se le conoce como la presencia de sustancias en el ambiente en altas concentraciones, en un tiempo determinado, como resultado de actividades humanas o procesos naturales, que pueden ocasionar daños a la salud de las personas o al ambiente (Presidencia, 2010). (Losacco & Perillo, 2018)(MAYHUA, 2017). Según la Organización Mundial de la Salud, la contaminación del aire, es el riesgo medio ambiental más representativo que puede afectar la salud de los seres vivos (OMS 2018).

### **4.2 MATERIAL PARTICULADO**

El material particulado, es un conjunto de partículas sólidas y líquidas, orgánicas e inorgánicas, emitidas directamente al aire, tales como los sulfatos, los nitratos, amoníaco, cloruro de sodio, hollín, polvos de agricultura y residuos provenientes de la minería. (OMS 2018). (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2009). Según la Normatividad Colombiana, el material particulado no sedimenta en períodos cortos de tiempo, sino que permanece suspendido en el aire, debido a su tamaño y densidad (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010). Son de tamaño, forma y composición variada, cualidades que permiten su identificación y se pueden



clasificar en términos de su diámetro aerodinámico (Matus C. & Oyarzún G., 2019) (Arciniégas, 2012) (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

#### **4.2.1 CATEGORIAS DE MATERIAL PARTICULADO**

Las categorías específicas de PM de  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$  han sido históricamente identificadas por los gobiernos nacionales como niveles de monitoreo importantes para evaluar la calidad del aire que respiramos, porque las partículas de  $PM_{10}$  irritan la mucosa expuesta, como los ojos y la garganta, y las partículas de  $PM_{2.5}$  viajan todo el camino a través de los pulmones hacia los alvéolos. La definición común de PM incluye partículas que no son más pequeñas que 100 nanómetros de tamaño. En cambio, las partículas de menos de 100 nm se informan como 'partículas ultrafinas' o 'UFP'. Pero hay partículas que se sedimentan porque su tamaño supera los 10 micrómetros y se le conoce como partículas sedimentables. (Livio Lattanzio, 2018) (IDEAM - Instituto de Hidrología, 2014) ("Calidad del aire ambiente (exterior) y salud," n.d.).

#### **4.3 VALIDACIÓN**

La validación de los métodos de ensayos es el desarrollo y realización de análisis de control, es una herramienta que tiene una repercusión decisiva en diferentes áreas tales como: las industrias tecnológicas y el medio ambiente, entre otras, la validación de métodos garantiza un nivel de confianza en la emisión de los resultados de los ensayos. En los últimos años las actividades relacionadas con la verificación y validación de métodos analíticos han cobrado gran importancia debido a que por un lado se presenta un continuo desarrollo y actualización de técnicas y equipos analíticos, y por otro lado existe un creciente interés de los profesionales en garantizar la calidad de sus procesos y resultados. (Camaro, Catalá, Gimeno, & Martinez, 2013).

La validación examina las características de desempeño de un método, para identificar y establecer cualquier limitación que pueda esperarse del método, así como identificar los factores que pueden influir en el cambio de dichos parámetros y limitaciones; y permite demostrar que el método es adecuado para el propósito. (Cáñez-Carrasco & García-Alegría, 2015)

La validez en los resultados de los análisis se ven afectados por diferentes factores, estos datos pueden obtenerse de ejercicios de intercorporación o de datos sobre validación remitidos por los fabricantes y sujetos a la evaluación de una tercera parte. Si no se dispone de datos sobre validación o si éstos no son plenamente aplicables, el laboratorio será responsable de completar la validación del método. Incluso cuando se haya realizado la validación, tendrá que verificar periódicamente que se cumplen los parámetros documentados. No existe un procedimiento específico para llevar a cabo una validación. Dependiendo de los alcances requeridos de la misma, se incluirán o no y analizarán a diferentes grados de profundidad los parámetros característicos, teniendo en cuenta el tiempo y los costos. (Engle & Doskotch, 1990).

Un método debe ser validado cuando es necesario demostrar que sus características de desempeño son adecuadas para el uso previsto. Por ejemplo, se indica en el apartado 7.2.2.1 de la Norma ISO/IEC 17025 que el laboratorio debe validar:

- Métodos no normalizados
- Métodos diseñados/desarrollados por el laboratorio
- Métodos normalizados usados fuera de su ámbito de aplicación
- Ampliaciones o modificaciones de métodos normalizados

La validación debe ser tan amplia como sea necesaria para cumplir con los requisitos en relación con el uso dado o la aplicación. La extensión 'alcance' de la validación dependerá de la aplicación, la naturaleza de los cambios realizados y de

las circunstancias en que el método se va a utilizar. También debe validarse cuando es necesario demostrar la equivalencia de los resultados obtenidos por dos métodos, por ejemplo, un método recientemente desarrollado y un método normalizados existente.

#### **4.3.1 PARAMETROS DE VALIDACIÓN.**

Los parámetros de rendimiento se establecen de acuerdo a la categoría a la que pertenecen el método y siguiendo los requisitos exigidos por distintos Organismos Internacionales que incluyen: intervalo de trabajo, linealidad, sensibilidad, límite de detección, límite de cuantificación, exactitud, precisión, repetibilidad, reproducibilidad, incertidumbre, etc. (Paez, 2008).

Está implícito que los estudios para determinar los parámetros de rendimiento se llevan a cabo mediante equipos que cumplen con las especificaciones, funcionan correctamente y están adecuadamente calibrados. Igualmente, el operador que realiza los estudios debe ser competente en el campo de trabajo en estudio y debe contar con suficientes conocimientos respecto al trabajo, como para poder tomar decisiones apropiadas a partir de las observaciones realizadas a medida que progresa el estudio. (Castro, 2016).

##### **4.3.1.1 Exactitud**

Grado de concordancia entre el resultado de un ensayo y el valor de referencia, está aplicado a un conjunto de resultados de un ensayo, y supone una combinación de componentes aleatorios y un componente común de error sistemático o sesgo. Para determinar el sesgo mayoritariamente se utilizan los patrones preparados en el laboratorio, en diferentes niveles de concentración, para de esta manera determinar la diferencia entre la media del valor obtenido y el valor teórico (FAO et al., 2009).

#### **4.3.1.2 Precisión**

Grado de correlación entre los resultados de las pruebas individuales cuando se ejecuta el método repetidamente a muestras separadas e idénticas, obtenidas a partir del mismo lote del material homogéneo. Se realiza por determinación de la desviación estándar (s) y coeficiente de variación (CV); y se establece en términos de repetibilidad y reproducibilidad (FAO et al., 2009).

#### **4.3.1.3 Repetibilidad**

El grado de concordancia entre los resultados independientes obtenidos con el mismo método material de ensayo, en las mismas condiciones (mismo operador, mismo aparato, mismo laboratorio y después de breves intervalos de tiempo). En algunos contextos repetibilidad se puede definir como el valor por debajo del cual se encuentra la diferencia absoluta entre dos resultados individuales obtenidos en las condiciones anteriores, con una probabilidad especificada (FAO et al., 2009).

#### **4.3.1.4 Reproducibilidad**

El grado de concordancia entre los resultados independientes obtenidos con el mismo método material de ensayo, pero en condiciones diferentes (operadores diferentes, aparatos diferentes, diferentes laboratorios y/ o después de diferentes intervalos de tiempo). En algunos contextos reproducibilidad se puede definir como el valor por debajo del cual está la diferencia absoluta entre dos resultados individuales obtenidos con material idéntico en las condiciones anteriores, con una probabilidad especificada. Se debe tener en cuenta que una declaración completa de la reproducibilidad requiere la especificación de las condiciones experimentales que se modifican (FAO et al., 2009).

#### 4.3.1.5 Límite de Detección

Concentración o cantidad real del analito presente en el material objeto de análisis que llevará, con una probabilidad  $(1-\beta)$ , a la conclusión de que la concentración o cantidad del analito es mayor en el material analizado que en el material testigo. Se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$LD = \bar{X} + t * s \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

LD = Límite de detección

$\bar{X}$  = Promedio

t = Valor de t de Studen,

s = desviación estándar

#### 4.3.1.6 Límite de Cuantificación

Característica del funcionamiento del método que suele expresarse como señal del valor (verdadero) de la medición. Se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$LC = \bar{X} + 10 * s \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

LC = Límite de cuantificación

$\bar{X}$  = Promedio

s = desviación estándar

#### 4.3.1.7 Incertidumbre de Medida

La incertidumbre es un intervalo asociado con un resultado de medida que expresa el intervalo de valores que razonablemente pueden atribuirse a la cantidad que se está midiendo. Una estimación de la incertidumbre debe tener en cuenta todos los efectos reconocidos que operan en el resultado. Las incertidumbres asociadas con cada efecto se combinan de acuerdo con procedimientos bien establecidos. Se

describen varios enfoques para obtener una estimación de la incertidumbre de los resultados de las mediciones químicas. Estos tienen en cuenta;

- La precisión a largo plazo global del método (es decir, la precisión intermedia o la reproducibilidad).
- La calibración de equipos: Las incertidumbres asociadas con la calibración de equipos tales como balanzas, termómetros, pipetas y frascos son a menudo insignificamente pequeña en comparación con la precisión global y la incertidumbre en el sesgo. Si esto se puede verificar entonces las incertidumbres de calibración no necesitan ser incluidas en la estimación de la incertidumbre.
- Cualquier efecto significativo que opera además de lo anterior, por ejemplo, los intervalos de temperatura o el tiempo permitidos por el método no pueden ejecutarse plenamente en los estudios de validación, y sus efectos pueden necesitar ser añadidos. Cuando la contribución de los efectos individuales es importante, por ejemplo, en los laboratorios de calibración, será necesario tener en cuenta las contribuciones individuales de todos los efectos individuales por separado (Ellison & Williams, 2012).

## 5. METODOLOGÍA

Al momento de realizar los ensayos de sólidos suspendidos (103 - 105°C) y material insoluble (105°C) se utilizaron soluciones de caolín en concentraciones de 4, 200 y 2000 mg/L, y para sólidos disueltos (180°C) y material insoluble total (105°C) se utilizaron soluciones cloruro de sodio con concentraciones de 5, 50 y 500 mg/L. Este proceso se llevó a cabo en ocho repeticiones para cada concentración, resultando 24 experimentos para cada ensayo. Y para la precisión del método se realizaron cuatro ensayos para cada estación de monitoreo, resultando 16 experimentos con las muestras reales.

### 5.1 EQUIPOS

- Balanza analítica.
- Hornos con capacidades de temperatura de 105 y 180 °C.
- Equipo recolector de partículas de polvos sedimentables.
- Sistema de filtrado.
- Termohigrometro
- Termocupla

### 5.2 REACTIVOS

De acuerdo con estas condiciones, las soluciones que se procesaron para la validación fueron:

- Blancos (BR): Agua Destilada.
- Muestras reales de polvos sedimentables de los lugares de monitoreo.
- Estándar Bajo (Eb): Caolín 0,0040 g y Cloruro de Sodio 0,0050 en 1000 mL.
- Estándar Medio (Em): Caolín 0,0200 g y Cloruro de Sodio 0,0050 en 100 mL.
- Estándar Alto (Eb): Caolín 0,2000 g y Cloruro de Sodio 0,0500 en 100 mL.

### 5.3 ESTABLECIMIENTO DEL PROTOCOLO DEL MÉTODO

Para establecer el protocolo para este ensayo, fue necesario conocer los procesos operativos de Corpoguajira, donde se encontró los Procedimientos de Gestión del Laboratorio Ambiental de Corpoguajira y de toda la entidad. Estos lineamientos de Calidad, están basados en la Norma ISO 9001 del 2015. Dentro de estas carpetas se encontraron los Procedimientos de Control de Documentos. Que explica las pautas a tener cuenta para establecer un protocolo, y cita lo siguiente. Todos los protocolos estandarizados, deben escribirse en letra Arial 10 y brindar la información adecuada de los siguientes ítems:

- Discusión general
  - Principio
  - Interferencias
  - Alcance
  - Toma y Preservación de la muestra
- Equipos y Materiales
- Reactivos
- Procedimientos
- Cálculos y Reportes
- Control de calidad de datos
- Bibliografía

Los cuales se pudo realizar con la ayuda de la NTC 3662 Titulada Gestión Ambiental, Aire, Recolección Y Medición De Partículas De Polvos Sedimentables y Standar Methods for Examination of Water and Wastewater aplicados en los ensayos de sólidos suspendidos y sólidos disueltos (Standar Methods, edition 23d.)



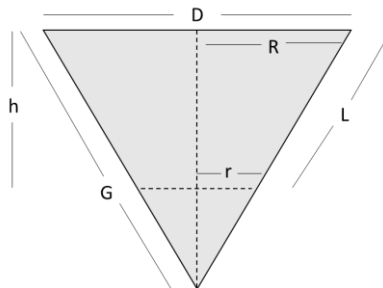
#### 5.4 MONTAJE DEL EQUIPO A UTILIZAR PARA EL MUESTREO DE PARTÍCULAS DE POLVOS SEDIMENTABLES.

Se procedió a la construcción del equipo según la Norma Técnica Colombiana 3662 donde indica las dimensiones y el diseño del equipo recolector basado en el Método de Bergerhoff.

La altura del equipo desde la parte superior del contenedor hasta la base debe ser de 2 m, el diámetro del contenedor debe ser de mínimo 15 cm, la altura del contenedor no debe ser superior a dos veces su diámetro y el cono truncado en la parte superior debe tener una altura de 10 cm y un diámetro superior de 45 cm.

Para llevar a cabo la construcción del equipo se tuvieron en cuenta las siguientes ecuaciones, mediciones y la figura 1:

**Figura 1.** Representación geométrica de un triángulo equilátero para obtener un cono truncado.



Fuente: Autor.

Teorema de Pitágoras el cual se utilizó para hallar uno de sus lados desconocidos

$$h^2 + d^2 = L^2 \quad \text{Ecuación 3}$$

Con la ecuación 4 se calculó la generatriz del cono truncado.

$$G = \frac{L * R}{d} \quad \text{Ecuación 4}$$

Se procedió a calcular la distancia donde se va a realizar el corte del cono, con la Ecuación 5.

$$x = G - L \quad \text{Ecuación 5}$$

Con las ecuaciones 7 y 8 se hallaron las circunferencias necesarias, para hallar el ángulo para formar el cono truncado.

$$\theta = \frac{C1 * 360^\circ}{C2} \quad \text{Ecuación 6}$$

$$C1 = 2\pi R \quad \text{Ecuación 7}$$

$$C2 = 2\pi G \quad \text{Ecuación 8}$$

Teniendo la altura y el diámetro del contenedor donde se va recolectar la muestra, se procedió a construir el equipo, respetando en gran parte el diseño planteado en la Norma citada anteriormente, con la ayuda de SolidWorks se modelo y del operario especializado.

## **5.5 VALIDACIÓN DEL MÉTODO DE PARTÍCULAS DE POLVOS SEDIMENTABLES**

Se instalaron los equipos con sus respectivos contenedores en las estaciones de monitoreo para la calidad del aire del Cerrejón (Barrancas, Campo Alegre, Provincial y Papayal), donde estuvieron durante  $30 \pm 2$  días, previamente se identificaron los recipientes con la fecha y hora de instalación. Se realizaron visitas periódicas cada 10 días para observar el estado de los equipos.

Simultáneamente en el laboratorio se dio inicio a la validación del método, analizando los patrones de sólidos suspendidos y sólidos disueltos según los protocolos del laboratorio y de material insoluble y soluble total según la Norma Técnica Colombiana 3662.

Luego, se calcularon los límites de detención y cuantificación, exactitud, estimación de la incertidumbre y precisión de los métodos, dichos cálculos se realizaron siguiendo los procedimientos de validación de métodos y estimación de la incertidumbre del Laboratorio Ambiental de Corpoguajira. Estos cálculos ayudaron a escoger cual método es más confiable para analizar partículas de polvos sedimentables y garantizar los resultados emitidos por el Laboratorio.

### **5.5.1 Límite de Detección y Cuantificación**

Para hallar la cantidad mínima que puede detectar el método, se analizaron siete muestras de blancos de reactivos, seguidamente para el manejo de validez de los datos, se excluyeron aquellos datos anómalos y se fijaron límites de porcentaje de error que cumplan con las normas fijadas por el Laboratorio Ambiental de Corpoguajira (CV <10%). Dando como resultados unos valores por fuera de los límites establecidos, por lo cual se tuvo que repetir el ensayo, pero esta vez con blancos fortificados con el analito de interés a la concentración más baja permitida, con la obtención de los datos anteriores, se calculó los límites de detección (LD) y de cuantificación (LC).

### **5.5.2 Exactitud**

Al momento de evaluar la exactitud, se analizaron blancos fortificados de laboratorio establecidos como estándares alto, medio y bajo. Realizando ocho repeticiones, y analizando que los datos cumplieran con el porcentaje de Error <10%, CV <10% y porcentaje de recuperación de los patrones 80 – 120%.

### 5.5.3 Estimación de La Incertidumbre

Inicialmente se analizaron las fuentes que presentan un error significativo al momento de realizar los ensayos con los patrones. Dentro de los cuales se encontraron:

- Linealidad de la balanza
- Repetibilidad de la diferencia de pesadas
- Especificación del material volumétrico
- $\Delta T$ , diferencia entre la temperatura de calibración del material y de trabajo
- Verificación del material volumétrico
- Incertidumbre del analista

Se empieza estimando la incertidumbre de la linealidad de la balanza en el nivel del trabajo se realiza utilizando los pesos de los vidrios de reloj y capsulas, tomando los pesos promedio de cada patrón utilizado. Este valor es reemplazado en la ecuación del certificado de calibración de la balanza (Ecuación 9), posteriormente el valor se reemplaza en la Ecuación 10:

$$u = 0,00013 + [(Masa) * (5,7 * 10^{-6})] \quad \text{Ecuación 9}$$

$$U_{Balanza} = \frac{u}{1,96} \quad \text{Ecuación 10}$$

Donde u, es la incertidumbre de la calibración de la balanza que contiene un nivel de confianza del 95%.

Luego se procedió a hallar la incertidumbre en la repetitividad de las pesadas, tomando los patrones de la balanza (pesas de 5, 50 y 100 g). Y se determinó la desviación estándar:

$$U_{Pesadas} = S \quad \text{Ecuación 11}$$

Donde:

S: es la desviación estándar de las pesadas.

Posteriormente se realizó el cálculo de la incertidumbre combinada, de la siguiente manera:

$$U_c = \sqrt{U_{(Balanza)}^2 + U_{(Pesadas)}^2} \quad \text{Ecuación 12}$$

Al tener la incertidumbre combinada, se procedió a calcular la incertidumbre estándar relativa mediante la siguiente ecuación:

$$IER_1 = \frac{U_c}{X} \quad \text{Ecuación 13}$$

Donde:

X: es el peso promedio de la capsula o vidrio de reloj.

Luego se procedió a calcular la incertidumbre, según especificaciones de material volumétrico de la siguiente manera:

$$U_{Material} = \frac{u}{\sqrt{6}} \quad \text{Ecuación 14}$$

Donde:

u: es la tolerancia del material, especificada por el fabricante.

Seguidamente, se determinó la incertidumbre corregida por la temperatura a la que se trabajó en el laboratorio de la siguiente manera:

$$u_{\Delta T} = \frac{(vol) * (\Delta T) * (k)}{\sqrt{3}} \quad \text{Ecuación 15}$$

Donde:

Vol: Volumen del material,

$\Delta T$ : el cambio de temperatura del material de referencia y la de trabajo,  
k: constante de expansión volumétrica del agua.

Para continuar con el cálculo de la incertidumbre de material volumétrico se procedió a determinar la desviación estándar en la verificación del mismo, tomando la probeta y medir 100 mL y pesarlos en varias repeticiones:

$$u_s = S \quad \text{Ecuación 16}$$

Posterior a esto, se procedió a calcular la incertidumbre combinada, mediante la siguiente ecuación:

$$uc_v = \sqrt{u_{(s)}^2 + u_{(material)}^2 + u_{(\Delta T)}^2} \quad \text{Ecuación 17}$$

Y la incertidumbre estándar relativa, como sigue:

$$IER_2 = \frac{uc_v}{vol. probeta} \quad \text{Ecuación 18}$$

Donde:

$uc_v$ : Es la incertidumbre combinada del material volumétrico

Para la incertidumbre del analista se tomó el coeficiente de variación obtenido en cada estándar, calculado en la exactitud del método, teniendo esta información se procedió a realizar el cálculo de la incertidumbre combinada total de la siguiente manera:

$$u_{ct} = \sqrt{Cv^2 + IER_1^2 + IER_2^2} \quad \text{Ecuación 19}$$

Después se procedió a calcular la incertidumbre expandida total de los métodos, utilizando la siguiente expresión:

$$U = K * u_{ct} * X \quad \text{Ecuación 20}$$

Donde:

X: es el valor de la concentración del patrón o muestra calculada.

K: es el factor de acuerdo al intervalo de confianza del 95%, K=2.

Este proceso se repitió para hallar la incertidumbre, pero con las muestras reales, para determinar la incertidumbre expandida y total, la única diferencia es que se utiliza el coeficiente de variación calculado en la precisión.

#### **5.5.4 Precisión**

La precisión del método, se evaluó realizando mediciones por cuatro repeticiones de cada muestra proveniente de las estaciones de monitoreo de aire de Cerrejón, observando que el coeficiente de variación se encontrara dentro los límites establecidos por el Laboratorio Ambiental.

### **5.6 DETERMINACIÓN DE LA TAZA DE DEPOSICIÓN DE PARTÍCULAS DE POLVOS SEDIMENTABLES EN EL LUGAR DE MONITOREO**

Teniendo los resultados del material insoluble y material soluble total se procedió a calcular la tasa de deposición de partículas de polvos sedimentables mediante la siguiente ecuación:

$$D = \frac{(MI + MST) - WCuSO_4}{A} \quad \text{Ecuación 21}$$

Donde:

MI: Es el material insoluble,

MST: Es el material soluble total,

A: Es el área de sección transversal del diámetro superior interno,


WCuSO<sub>4</sub>: es la cantidad de sulfato de cobre agregado para evitar el crecimiento de algas.

Los datos fueron reportados teniendo en cuenta los 30 días de muestreo.

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN


### 6.1 PROTOCOLO PARA PARTICULAS DE POLVOS SEDIMENTABLES

Se presenta el protocolo que se estableció para llevar a cabo los análisis en el Laboratorio Ambiental de Corpogujira para partículas de polvos sedimentables.

 Corpogujira	MEDICIÓN Y ANÁLISIS AMBIENTAL	CODIGO:
	RECOLECCIÓN Y MEDICIÓN DE PARTÍCULAS DE POLVOS SEDIMENTABLES	VERSIÓN:
		FECHA:
		Página 1 de 5

CONTENIDO		pág.
1.	DISCUSIÓN GENERAL.....	2
1.1	PRINCIPIO.....	2
1.2	INTERFERENCIAS.....	2
1.3	ALCANCE.....	2
1.4	TOMA Y PRESERVACIÓN DE LA MUESTRA.....	2
2.	EQUIPOS Y MATERIALES.....	3
3.	REACTIVOS.....	3
4.	PROCEDIMIENTO.....	4
4.1	MATERIAL INSOLUBLE.....	4
4.2	MATERIAL SOLUBLE TOTAL.....	4
5.	CÁLCULOS.....	5
6.	CONTROL DE CALIDAD DE DATOS.....	6
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	6



	<b>MEDICIÓN Y ANÁLISIS AMBIENTAL</b>	CODIGO:
	<b>RECOLECCIÓN Y MEDICIÓN DE PARTÍCULAS DE POLVOS SEDIMENTABLES</b>	VERSION:
		FECHA:
		Página 2 de 5

## 1. DISCUSIÓN GENERAL

### 1.1 PRINCIPIO

Las partículas sedimentables son cualquier material compuesto de partículas provenientes del aire del ambiente, lo suficientemente pequeñas para pasar por un tamiz de 1 mm y lo suficientemente grande para sedimentarse debido a su peso. El sistema de recolección y medición de partículas sedimentables se lleva a cabo por periodos largos de tiempo de aproximadamente 30 días con una tolerancia de  $\pm 2$  días en colectores diseñados basados en el Método de Bergerhoff.

### 1.2 INTERFERENCIAS

Los resultados de este ensayo se obtienen por pesajes. Se puede considerar como interferente cualquier material que entra en el recipiente y que pasa a través del tamiz usado para el análisis, pero que no se asienta en el recipiente debido a su peso.

La manipulación de la capsula / vidrio reloj debe ser cuidadosa en cada uno de las etapas, ya que la pérdida de material implicará resultados más bajos. Las pinzas deben sostener un extremo del recipiente para no dañarlo.

La mala manipulación en la toma de muestra, es decir que se tome antes o después de 30 días con una tolerancia de  $\pm 2$  días, que deje caer el recipiente donde está la muestra y este mal tapada o intentar sacar el material recolectado en los sitios de muestreos, puede alterar la muestra.

Por otra parte, las estructuras mayores de un metro en un radio de 20 metros cerca a los sitios de muestreos tales como árboles, escapes de aire, canales de ventilación, chimeneas, construcciones cercanas, tráfico vehicular, demoliciones e incendios pueden alterar significativamente los resultados.


Los colectores de muestreo están expuestos a vandalismo por la ubicación recomendada para la toma de muestras según la norma.

### 1.3 ALCANCE

Este método es aplicable en material compuesto de partículas provenientes del aire del ambiente, lo suficientemente pequeñas para pasar por un tamiz de 1 mm y lo suficientemente grande para sedimentarse debido a su peso.

### 1.4 TOMA Y PRESERVACIÓN DE LA MUESTRA

- Deben instalarse los equipos en los sitios de monitoreo establecidos con los contenedores limpios, secos y tapados donde se van a recolectar las muestras.
- Registrar la fecha, hora, número de identificación de cada contenedor y destapar el contenedor.
- Dejar el equipo durante 30 días con una tolerancia de  $\pm 2$  días.

	<b>MEDICIÓN Y ANÁLISIS AMBIENTAL</b>	CODIGO:
	<b>RECOLECCIÓN Y MEDICIÓN DE PARTÍCULAS DE POLVOS SEDIMENTABLES</b>	VERSION:
		FECHA:
		Página 3 de 5

- Al finalizar el periodo de muestreo se tapan los contenedores y se registran los datos de fecha hora y número del contenedor.
- Es preferible no almacenar las muestras por más de 10 días para evitar la formación de algas y mantener refrigerada a 4°C.

Nota:


- Durante el periodo de exposición del contenedor también entrará agua, esta agua no debe ser desechada, esta será procesada en el laboratorio. Solo se desecha una muestra cuando el agua haya rebosado el contenedor.
- Realizar un arrastre con agua destilada o desmineralizada a los contenedores antes de transportarlos a los sitios de muestreo.

## 2. EQUIPOS Y MATERIALES

- Tamiz de acero inoxidable de 1 mm (No. 18)
- Horno; su temperatura debe ser controlada a 105 °C
- Embudo de buchner y, además, dos recipientes de filtrado de 2 L.
- Papel filtro; de filtrado rápido, y de forma circular, para que se ajuste al embudo.
- Platos de evaporación de 100 mL de capacidad.
- Desecadores.
- Balanza analítica para pesar con una precisión de  $\pm 0,1$  mg.
- Espátula flexible.
- Cajón o armazón donde colocar los recipientes.
- Cilindro graduado (probeta); su capacidad debe ser de 1 L y se debe verificar su precisión de sus graduaciones de  $\pm 5$  mL, usando por ejemplos frascos volumétricos o pipetas.
- Pinzas pequeñas para manipular el filtro.
- Cronómetro.
- Baño maría, placa caliente o bloque para la evaporación de la muestra. Debe ser capaz de mantener una temperatura  $< 100$  °C sin hervir para evitar salpicaduras
- Bomba de vacío.

## 3. REACTIVOS

- Agua destilada o desmineralizada
- Estándar de control de 400 mg/L: Pese 0,02 g de Cloruro de Sodio y 0,02 g de Caolín, secados a 103 – 105 °C por un tiempo  $\geq 1$  hora y desecados mínimos durante una hora. Transfiera a un balón aforado de 100 mL y diluya con agua grado reactivo.

	<b>MEDICIÓN Y ANÁLISIS AMBIENTAL</b>	CODIGO:
	<b>RECOLECCIÓN Y MEDICIÓN DE PARTÍCULAS DE POLVOS SEDIMENTABLES</b>	VERSION:
		FECHA:
		Página 4 de 6

#### 4. PROCEDIMIENTO

##### 4.1 MATERIAL INSOLUBLE

Seguir el procedimiento descrito en el numeral 4 del protocolo de Sólidos Suspendidos Totales Secados a 103-105 °C SM 2540 D código MA-PR-105.

##### 4.2 MATERIAL SOLUBLE TOTAL

Seguir el procedimiento descrito en el numeral 4 del protocolo de Sólidos Disueltos Secados a 180 °C SM 2540 C código MA-PR-126.

#### 5. CÁLCULOS

$$\text{Material insoluble (Wi)} = (Wa - Wd)$$

Donde:

Wa = Peso del filtro + plato de evaporación antes del filtrado [g]

Wd = Peso del filtro + plato de evaporación después del filtrado y con un peso constante [g]

$$\text{Material soluble total (Wst)} = (Pa - Pd)$$

Donde:

Pa = plato de evaporación antes del filtrado [g]

Pd = plato de evaporación después del filtrado concentrado y con un peso constante [g]

$$\text{Tasa de deposición (D)} = \frac{(Wi + Wst) - WCuSO4}{A}$$

Los resultados son reportados en el número de días de muestreo

Donde:

A = área de recolección, área transversal del diámetro interno de la parte superior del recipiente [m<sup>2</sup>]

Wi = peso del material insoluble [g]

Wst = peso del material soluble total [g]

d = número de días de muestreo

WCuSO4= cantidad de sulfato de cobre añadido

$$WCuSO4 = \frac{20\text{mL} * 1,2152\text{g}}{500\text{mL}} = 0,0486\text{g}$$

	<b>MEDICIÓN Y ANÁLISIS AMBIENTAL</b>	CODIGO:
	<b>RECOLECCIÓN Y MEDICIÓN DE PARTÍCULAS DE POLVOS SEDIMENTABLES</b>	VERSION:
		FECHA:
		Página 5 de 5

## 6. CONTROL DE CALIDAD DE DATOS

Especificaciones de Control de Calidad:

Estándares y muestras a analizar	Cantidad	Mínimo	Frecuencia
Duplicado de muestra.	1	1	Por cada lote de muestras
Patrón de 400 mg/L de NaCl y Caolín	1	1	Por cada lote de muestras
Blanco	1	1	Por cada lote de muestras
Material de referencia certificado	1	1	Anualmente o participación en pruebas de desempeño

Nota: Debido a la sensibilidad de las balanzas, estas deberán encontrarse en condiciones adecuadas para su funcionamiento, razón por la cual, debe cumplirse con los requisitos indicados en el instructivo manejo de balanzas.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

Norma Técnica Colombiana (NTC 3662).

Normatividad establecida por la Organización Mundial de la Salud (OMS).

Como se puede apreciar, en el protocolo arriba presentado, para realizar la determinación de Material Insoluble (MI) y Soluble (MST) se llama a los procedimientos descritos en los documentos MA-PR-105 y MA-PR-126 para el análisis de Sólidos Suspendidos Totales (SST) y Sólidos Disueltos Totales (SDT) respectivamente, esto debido a que en el momento de realizar la validación del método de Partículas de Polvo Sedimentables se encontró que en el laboratorio ambiental de Corpoguajira los procedimientos de MI y MST arrojan resultados con grandes porcentajes de error (como se podrá observar en los numerales siguientes) a diferencia de los procedimientos de SST y SDT que viene implementando el laboratorio.

Sin embargo, en el anexo C se presenta un protocolo diseñado según los procedimientos descritos en la NTC 3662 y bajo la forma documental del Sistema de Gestión de Calidad (SGC) del laboratorio ambiental de Corpogujaira.

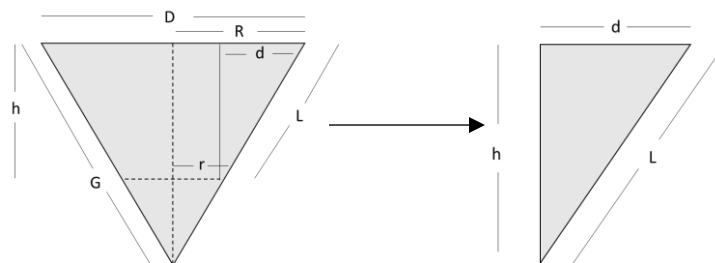
## 6.2 MONTAJE DE EQUIPO PARA MONITOREO DE POLVOS SEDIMENTABLES

El equipo consiste en una base cuya altura junto con la cuna donde va el contenedor suman dos metros, el contenedor es una botella de vidrio ámbar de 4000 mL y para cumplir con las especificaciones de la norma se le anexo un embudo cuyo diámetro es de 18,5 cm, que en conjunto con la botella dan una altura total de 54 cm.

Teniendo algunos valores proporcionados por la NTC 3662 para la construcción de la mampara, tales como el diámetro superior (45 cm), radio inferior (15 cm) y la altura (10 cm), se calcularon los valores de la generatriz y la distancia L, con el fin de modelar un cono truncado con todas las especificaciones dadas. En la figura 2 se muestra el triángulo donde por medio del Teorema de Pitágoras (ecuación 4) se calculó la longitud del truncamiento hasta la parte superior de la mampara.

Dónde: D es el diámetro superior, R es el radio superior, G es la generatriz, r es el radio inferior, h es la altura, L es la longitud del truncamiento hasta la parte superior, d es la distancia del triángulo donde se le va a aplicar el teorema de Pitágoras, como se muestra en la figura 2.

**Figura 2.** Representación geométrica con las incógnitas a determinar y obtener la mampara del equipo.



Fuente: Autor

Se aplica la ecuación 3, para calcular el lado desconocido. De la siguiente manera:

$$L = \sqrt{10^2 + 7,5^2} = 12,5 \text{ cm}$$

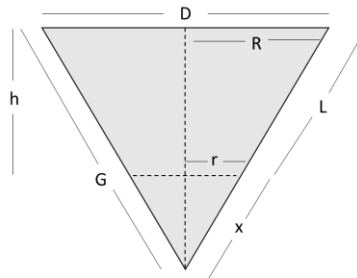
Por equivalencia se halló el valor de la generatriz del cono truncado mediante la ecuación 4.

$$G = \frac{12,5 \text{ cm} * 22,5 \text{ cm}}{7,5 \text{ cm}} = 37,5 \text{ cm}$$

Luego se halló el valor de  $x$ , que es el truncamiento donde se va a realizar el corte del cono, dicha distancia se calculó mediante la ecuación 5 y se puede observar en la figura 3.

$$x = 37,5 \text{ cm} - 12,5 \text{ cm} = 25 \text{ cm}$$

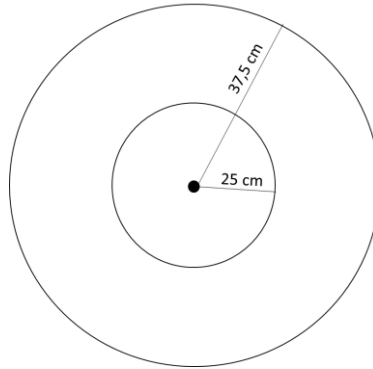
**Figura 3.** Representación geométrica del triángulo base para el cono truncado.



Fuente: Autor

Estos datos facilitan la construcción del cono truncado del equipo recolector, en la figura 4 se presenta un bosquejo de la circunferencia con los radios calculados que son requeridos para hallar el ángulo de corte y así garantizar las dimensiones recomendadas en la norma.

**Figura 4.** Representación gráfica de la vista superior del cono truncado con los valores de la generatriz y distancia calculados.



Fuente: Autor

Mediante la ecuación 6, se calculó el ángulo por donde se debe hacer el corte del cono truncado.

$$\theta = \frac{C1 * 360^\circ}{C2}$$

Donde:

C1: Circunferencia de la parte superior del Cono y se determina mediante la ecuación 7.

$$C1 = 2\pi * (22,5 \text{ cm}) = 141,37 \text{ cm}$$

C2: Circunferencia de la parte inferior del Cono y se determina mediante la ecuación 8.

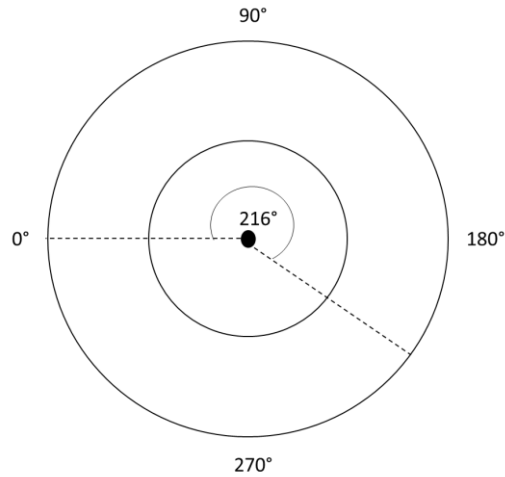
$$C2 = 2\pi * (37,5 \text{ cm}) = 235,61 \text{ cm}$$

Reemplazando en la ecuación 6, se obtiene el ángulo el cual garantiza las medidas deseadas para obtener la parte superior del equipo.

$$\theta = \frac{141,37 \text{ cm} * 360^\circ}{235,61 \text{ cm}} = 216^\circ$$

Se realizan esquemas gráficos con el ángulo correspondiente y se brinda así un apoyo visual al técnico que realiza el corte de la lámina galvanizada.

**Figura 5.** Vista Superior del Cono Truncado con el Angulo de Corte final



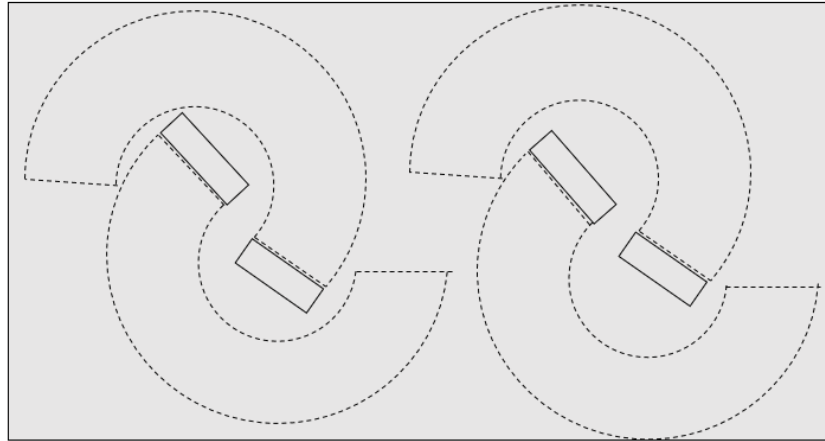
Fuente: Autor

Para realizar el corte fue necesario dejar una longitud adicional de 5 a 6 cm para la unión de cono, de modo que pudiera quedar con las medidas deseadas según la NTC 3662, como se muestra en la figura 6.

Luego de tener las medidas exactas y conociendo de la lámina galvanizada de la cual está hecha la parte superior del equipo, se realizó un bosquejo de como cortar la lámina y obtener las cuatro mamparas requeridas para la construcción del equipo de muestreo, como se puede observar en la figura 6.



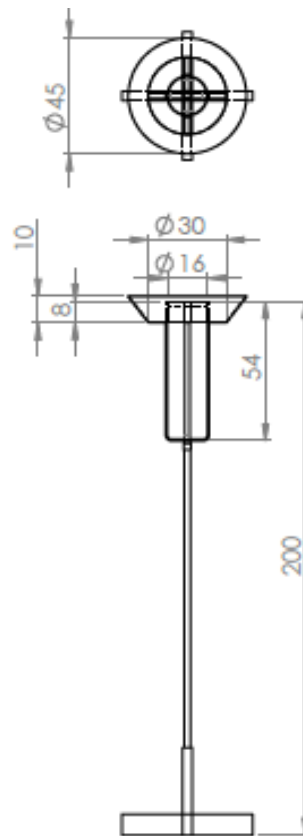
**Figura 6.** Representación de media lámina galvanizada y los cortes para obtener la mampara



Fuente: Autor.

En la figura 7, se muestra el diseño final en plano del equipo de muestreo con dimensiones.

**Figura 7.** Diseño en el plano del equipo, para la recolección de partículas de polvos sedimentables.



Fuente. Autor

Se realizó un diseño digital en 3D (Figura 8) para mejor visualización del equipo y que sirvió como guía al técnico en la construcción de los equipos.

**Figura 8.** Diferentes vistas del equipo de muestreo diseñado.



Fuente: Autor

Con las dimensiones y el diseño digital, se construyeron los equipos (Figura 9).

**Figura 9.** Muestreadores contruidos por equipo técnico.



Fuente: Autor.

Los equipos fueron instalados en las estaciones de monitoreo del Cerrejón (Figura 10), quien viene implementando este ensayo desde el año 2006, ubicadas en el municipio de Barrancas, los resguardos indígenas Provincial y Campo Alegre y en el corregimiento de Papayal.

**Figura 10.** Estaciones del Sistema de Vigilancia para la Calidad del Aire.



Campo Alegre



Barrancas



Provincial



Papayal

Fuentes: Autor.

En la siguiente tabla se ilustran los costos de los materiales necesarios para la construcción de los equipos.

**Tabla 1.** Costos relacionados para la construcción de los equipos recolectores.

<b>Materiales</b>	<b>Descripción</b>	<b>Valor</b>
Lámina Galvanizada Calibre 22	Lámina galvanizada para la construcción de la Mampara.	\$ 30.000
Platina de Hierro 5/8	Platina de Hierro para poder sostener el contenedor y el embudo recolector.	\$ 27.000
Trípode	Base principal para sostener el equipo.	\$ 80.000
Embudos	Para cumplir con el diámetro superior según la Norma.	\$ 24.000
Embaces de Vidrio de 4000 mL	Contenedor recolector de material de polvos sedimentables.	\$ 100.000
Pintura anti corrosiva	Para evitar el deterioro de los equipos.	\$ 30.000
Mano de Obra	Costo por realizar los cuatro equipos.	\$ 120.000
<b>Total</b>	Para la construcción de cuatro equipos.	<b>\$ 411.000</b>

Fuente: Autor

Los equipos de muestreo fueron construidos con materiales proporcionados por la Corporación, sin embargo, a pesar de ser materiales con buenas propiedades, no son aptos para estar a la intemperie y por ende no se garantiza la vida útil del equipo (Chacon, 2009). Por esto al ser de un material de fácil oxidación se utilizó una pintura anticorrosiva para extender la vida útil de los equipos.

Los contenedores de vidrio ámbar (4000 mL) utilizados, garantizan el no reboce de las muestras, no obstante, es recomendable utilizar un material resistente a golpes.

### **6.3 VALIDACIÓN DEL MÉTODO**

Para llevar a cabo la validación fue necesario el cálculo del límite de detección y cuantificación, el cual se llevó a cabo siguiendo los protocolos de sólidos según los Métodos Estandarizados (SM) y la NTC, utilizando blancos de reactivos en 7

repeticiones, como lo establece el procedimiento de Validación de Métodos del Laboratorio Ambiental de Corpogujira.

**Nota:** Los resultados que se logran apreciar en las siguientes tablas, varían en cifras significativas debido a que son valores relativamente bajos y para que se pueda observar la diferencia fue necesario escribirlos en notación científica y general.

**Tabla 2.** Cálculo del Límite de Detección y Límite de Cuantificación.

<b>Blancos de Reactivo</b>				
<b>Número de ensayos</b>	<b>Resultados mg/L MI</b>	<b>Resultados mg/L MST</b>	<b>Resultados mg/L SST</b>	<b>Resultados mg/L SDT</b>
1	1	10	0	14
2	0	8	4	1
3	19	12	6	4
4	0	10	0	7
5	0	10	0	7
6	0	23	2	0
7	0	17	0	0
Promedio (X)	2,9	13	1,7	4,7
Desv. Est.	7,1	5,3	2,4	5,1
Número de datos	7	7	7	7
Mínimo	0	8	0	0
Máximo	19	23	6	14
T mínimo	0,4	0,9	0,7	0,9
T máximo	2,3	1,9	1,8	1,8
T teórico	1,94	1,94	1,94	1,94
Eliminar	19	23	6	14
Promedio (X)	0,2	11,2	1,0	3,2
Desviación Estándar	0,4	3,1	1,7	3,3
Número de datos	6	6	6	6
Coef. Variación	245%	28%	167%	105%

Fuente: Autor

Como puede observarse en la tabla 2, los resultados muestran coeficientes de variación extremadamente altos (245 – 28%) los cuales superan el límite permitido por el laboratorio (CV < 10%), por lo tanto, siguiendo el procedimiento de Validación

de Métodos y las recomendaciones de los SM (Standar Methods et al., n.d.), se siguió el proceso utilizando blancos fortificados con analito a una concentración baja (Ver Tabla 3).

**Tabla 3.** Cálculo del Límite de Detección y Límite de Cuantificación.

<b>Blancos Fortificados de Laboratorio (BFL)</b>				
<b>Número de Ensayos</b>	<b>Resultados mg/L MI</b>	<b>Resultados mg/L MST</b>	<b>Resultados mg/L SST</b>	<b>Resultados mg/L SDT</b>
1	0,6	4,9	4	4,9
2	4,3	5	4,2	5
3	8,5	5,3	3,7	5,3
4	7,3	4,8	3,6	4,8
5	9,9	5,1	3,9	5,1
6	10,1	5,1	4,1	5,1
7	8,5	5,2	3,7	5,2
8	3,2	5,2	3,9	5,2
Promedio (X)	6,6	5,1	3,9	5,1
Desv. Est.	3,5	0,2	0,2	0,2
Número de datos	8	8	7	8
Mínimo	0,6	4,8	3,6	4,8
Máximo	10,1	5,3	4,2	5,3
T mínimo	1,7	1,7	1,3	1,7
T máximo	1,0	1,4	1,4	1,4
T teórico	2,03	2,03	1,94	2,03
Eliminar	10,1	5,3	4,2	5,3
Promedio (X)	6,0	5,0	3,8	5,0
Desviación Estándar	3,4	0,2	0,2	0,2
Número de datos	7	7	6	7
Coef. Variación	56%	3%	5%	3%
<b>Criterios de aceptación</b>				
Límite de Detección	-	5,3	4,2	5,3
Límite de Cuantificación	-	6,6	5,8	6,6

Fuente: Autor



Como se muestra en la Tabla 3, al usar los BFL, se pudieron obtener coeficientes de variación dentro de los límites aceptados por el laboratorio, con la excepción del método para la determinación de Material Insoluble, esto es posible debido a que para este ensayo se usaron filtros de papel como los indicados en la NTC 3662 (Scheider & Schuell referencia No 300211) y estos permiten que parte del Caolín pase por sus poros (2  $\mu\text{m}$  según Solanas, 2008), además, al momento de pesar estos filtros, la balanza al ser muy precisa tardaba mucho tiempo en estabilizarse; interfiriendo en la repetibilidad confiable del ensayo, en este caso no pudieron ser calculados los límites del mismo.

Siguiendo con el procedimiento de Validación, se calculó la exactitud de los métodos planteados en el trabajo, utilizando BFL a tres diferentes concentraciones (Estándar Bajo, Medio y Alto). Los resultados se presentan en las tablas 4 y 5.

**Tabla 4.** Cálculo de la Exactitud de las Mediciones para SST y MÍ.

<b>Valor nominal del Estándar, mg/L</b>						
<b>Número de Ensayos</b>	<b>SST</b>			<b>MI</b>		
	<b>Bajo 4</b>	<b>Medio 200</b>	<b>Alto 2000</b>	<b>Bajo 4</b>	<b>Medio 200</b>	<b>Alto 2000</b>
1	4	204	1994	0,6	194	1357
2	4,2	182	1992	4,3	124	1657
3	3,7	198	1994	8,5	116	1364
4	3,6	194	1994	7,3	100	1044
5	4,3	197	1988	9,9	199	1241
6	3,7	196	2083	10,1	125	1817
7	3,9	199	1905	8,5	115	1409
8	4,1	201	2230	3,2	103	1778
Promedio	4,0	196	2023	7,0	135	1458
Desv. Est.	0,3	6,6	96	3,5	39	270
N. datos	8	8	8	8	8	8
Mínimo	4	182	1905	1	100	1044
Máximo	4	204	2230	10	199	1817
T mínimo	1,3	2,2	1,2	1,7	0,9	1,5
T máximo	1,4	1,2	2,2	1,0	1,6	1,3
T teórico	2,03	2,03	2,03	2,03	2,03	2,03
Eliminar	Ninguno	182	2230	Ninguno	Ninguno	Ninguno
Promedio	3,9	198	1992	0,6	135	1458
Desv est	0,3	6,6	96	3,5	39	270
Coef. Variación	7%	3%	5%	53%	29%	19%
Recuperación	98%	99%	100%	164%	67%	73%
Exactitud	98%	99%	100%	36%	67%	73%
Error	2%	1%	0%	64%	33%	27%

Fuente: Autor

**Tabla 5.** Cálculo de la Exactitud de las Mediciones Para SDT y MST.

Número de Ensayos	Valor nominal del Estándar, mg/l					
	SDT			MST		
	Bajo 5	Medio 50	Alto 500	Bajo 5	Medio 50	Alto 500
1	4,9	47	448	4,9	116	451
2	5	48	456	7,4	129	448
3	5,3	50	441	6,3	61	403
4	4,8	52	452	5,5	94	473
5	5,1	52	508	6,4	59	520
6	5,1	49	516	5,7	70	457
7	5,2	51	505	4,3	47	539
8	5,2	51	541	3,9	60	480
Promedio	5,1	50	483	5,6	80	471
Desv. Est.	0,2	1,9	38	1,2	30	43
N. de datos	8	8	8	8	8	8
Mínimo	5	47	441	4	47	403
Máximo	5	52	541	7	129	539
T mínimo	1,7	1,6	1,1	1,4	1,1	1,6
T máximo	1,4	1,1	1,5	1,6	1,7	1,6
T teórico	2,03	2,03	2,03	2,03	2,03	2,03
Eliminar	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno
Promedio	5,1	50	483	5,6	80	471
Desv est	0,2	1,9	38	1,2	30	43
Coef. Variación	3%	4%	8%	21%	38%	9%
Recuperación	102%	100%	97%	111%	159%	94%
Exactitud	99%	100%	97%	89%	41%	94%
Error	2%	0%	3%	11%	59%	6%

Fuente: Autor

En las tablas 4 y 5 se presentan los resultados de la determinación de la exactitud de los métodos, los ensayos recomendados por la NTC 3662 presentan grandes porcentajes de error (64 – 6 %) y bajos niveles de exactitud (94 – 36 %), en contraste con los análisis descritos en el SM que muestran bajos porcentajes de error (0 – 3 %) y altos niveles de exactitud (100 - 97 %).

Es importante observar que el porcentaje de recuperación de Material Insoluble es menor a 100 y el del Material Soluble Total es mayor a 100, esto puede deberse a que el tamaño de poro de los filtros de papel utilizados es 2  $\mu\text{m}$  (Solanas, 2008) mientras, el tamaño de partícula del caolín (Patrón de MI) es inferior a 2  $\mu\text{m}$  (Mackinnon et al., 1993), permitiendo entonces el paso del MI y contaminando las muestras de MST, esto no sucede con los ensayos de SST y SDT ya que, en este caso son utilizados filtro de fibra de vidrio (Whatman CAT No. 1825-047) cuyo tamaño de poro es igual a 0,7  $\mu\text{m}$ . El anexo D presenta fotografías donde se pueden observar el agua resultante del filtrado de los métodos y la turbiedad que presenta la muestra a la cual se le determinaran los MST.

Al momento de calcular la incertidumbre de los métodos fue necesario analizar las principales fuentes que pueden generar errores significativos en los ensayos estudiados tales como:

- Linealidad de la balanza
- Repetibilidad de la diferencia de pesadas
- Especificación del material volumétrico
- $\Delta T$ , diferencia entre la temperatura de calibración y de trabajo
- Verificación del material volumétrico
- Analista

A continuación, se muestran en las tablas 6, 7 y 8 los resultados del cálculo de la incertidumbre para los métodos de SST y SDT ubicando en la tabla 6 los aportes de la linealidad de la balanza y la repetibilidad de la diferencia de pesadas. En la tabla 7 se observa la incertidumbre referida al material volumétrico y la diferencia entre la temperatura de su calibración y la de trabajo en el laboratorio. Los resultados de la incertidumbre total de los BFL bajo los métodos Sólidos Suspendidos Totales y

Sólidos Disueltos Totales se presentan en la tabla 8, donde se tiene en cuenta la incertidumbre aportada por el proceso de pesaje, medición de volumen y la agregada por los analistas.

**Tabla 6.** Incertidumbre de la Balanza, para SST Y SDT.

<b>Estándar Métodos</b>	<b>Pesos Promedios</b>	<b>U<sub>Balanza</sub></b>	<b>U<sub>Pesadas</sub></b>	<b>U<sub>c</sub></b>	<b>IER<sub>1</sub></b>
4	14,0588	1,07E-04	9,91E-05	1,46E-04	1,04E-05
200	13,8120	1,06E-04	1,90E-04	2,18E-04	1,56E-05
2000	14,8382	1,09E-04	4,88E-04	5,00E-04	3,37E-05
5	71,3757	2,74E-04	9,91E-05	2,91E-04	4,08E-06
50	72,6810	2,78E-04	1,90E-04	3,37E-04	4,63E-06
500	70,5279	2,71E-04	4,88E-04	5,58E-04	7,91E-06

Fuente: Autor

**Tabla 7.** Incertidumbre del Material Volumétrico Utilizado.

<b>Estándar Métodos</b>	<b>U<sub>Material</sub></b>	<b>U<sub>delta T</sub></b>	<b>U<sub>s</sub></b>	<b>U<sub>cv</sub></b>	<b>IER<sub>2</sub></b>
4	4,0825	0,4018	N/A	4,1022	0,0041
200	0,2041	0,0402	0,1672	0,2669	0,0027
2000	0,2041	0,0402	0,1672	0,2669	0,0027
5	4,0825	0,4018	0,1672	4,1022	0,0041
50	0,2041	0,0402	0,1672	0,2669	0,0027
500	0,2041	0,0402	0,1672	0,2669	0,0027

Fuente: Autor

**Tabla 8.** Incertidumbre Total, para SST y SDT.

<b>Estándar Métodos</b>	<b>Combinada total</b>	<b>Expandida Total</b>
4	0,0041	± 0,01
200	0,0169	± 6,7
2000	0,0259	± 103
5	0,0041	± 0,02
50	0,0371	± 3,7
500	0,0792	± 76

Fuente: Autor

Del mismo modo se hizo el cálculo de la incertidumbre para los métodos de determinación de Material Insoluble y Material Soluble Total, en este caso se tomaron los datos expresados en la tabla 7 debido a que para todos los métodos se utilizaron los mismos patrones y el mismo material volumétrico. En las tablas 9 y 10 se presentan los resultados de este cálculo.

**Tabla 9.** Incertidumbre Proveniente de la Balanza para MI y MST.

<b>Norma Técnica</b>	<b>Pesos Promedios</b>	<b>U<sub>Balanza</sub></b>	<b>U<sub>Pesadas</sub></b>	<b>U<sub>c</sub></b>	<b>IER<sub>1</sub></b>
4	0,9873	6,920E-05	9,910E-05	1,21E-04	1,22E-04
200	0,9748	6,916E-05	1,902E-04	2,02E-04	2,08E-04
2000	1,0598	6,941E-05	4,880E-04	4,93E-04	4,65E-04
5	69,7562	2,692E-04	9,910E-05	2,87E-04	4,11E-06
50	70,3528	2,709E-04	1,902E-04	3,37E-04	4,71E-06
500	74,0727	2,817E-04	4,880E-04	5,63E-04	7,61E-06

Fuente: Autor

**Tabla 10.** Incertidumbre Total, Para MI Y MST.

<b>Norma Técnica</b>	<b>Combinada total</b>	<b>Expandida Total</b>
4	0,0041	± 0,02
200	0,2921	± 78
2000	0,1852	± 540
5	0,0041	± 0,05
50	0,3768	± 60
500	0,0910	± 86

Fuente: Autor.

Luego se calculó la incertidumbre para las muestras reales recolectadas en las estaciones de monitoreo de Campo Alegre, Barrancas, Papayal y Provincial analizadas bajo los ensayos de SST y SDT, el procedimiento fue el mismo descrito anteriormente, pero esta vez la cuantificación de la incertidumbre aportada por el analista fue dada por la desviación estándar calculada en la precisión del método.

En la tabla 11 se muestra el valor de la incertidumbre total expandida para cada muestra en ambos métodos. Los valores para cada uno de los aportes a la incertidumbre en este caso están descritos en el anexo E.

Se reportan algunos valores en notación científica por ser números muy pequeños pero, de gran importancia para apreciar la incertidumbre aportada en cada uno de los métodos.

**Tabla 11.** Incertidumbre Total, Muestras SST.

<b>Muestras Reales SST</b>	<b>Combinada Total</b>	<b>Expandida Total</b>
Campo Alegre	0,0447	± 24
Barrancas	0,0096	± 4,3
Papayal	0,0340	± 18
Provincial	0,0340	± 13

Fuente: Autor

**Tabla 12.** Incertidumbre Total, Muestras SDT.

<b>Muestras Reales SDT</b>	<b>Combinada total</b>	<b>Expandida total</b>
Campo Alegre	0,0202	± 2,7
Barrancas	0,0820	± 13
Papayal	0,0690	± 17
Provincial	0,0399	± 10

Fuente: Autor

Los límites de detección y cuantificación de MI no pudieron ser determinados, la exactitud de MI y MST fue baja presentando altos porcentajes de error además, la incertidumbre de estos métodos se mantuvo mayor a la presentada por los ensayos de SST y SDT; con base en estos resultados se determina que los métodos establecidos por la NTC 3662 no son aptos para realizarse en las instalaciones del Laboratorio Ambiental de Corpogujaira, razón por la cual el análisis de las muestras recolectadas en las estaciones de monitoreo fue realizado únicamente a través de

los métodos establecidos por SM los cuales han sido validados y ejecutados anteriormente por el laboratorio.

La precisión del método se realizó con las muestras recolectadas en las estaciones de monitoreo repitiendo los ensayos cuatro veces por cada muestra, como se observa en las tablas 12 y 13 a continuación.

**Tabla 13.** Precisión del Método SST con las muestras reales

Numero ensayos	MATERIAL INSOLUBLE mg/L			
	Campo Alegre	Barrancas	Papayal	Provincial
1	227	217	253	293
2	251	226	272	300
3	279	222	272	309
4	261	222	295	351
Promedio	254	223	273	313
Desv. Est	19	3,2	15	22
Núm. de datos	4	4	4	4
Mínimo	227	217	253	293
Máximo	279	226	295	351
T min	1,5	1,5	1,3	0,9
T máx.	1,3	1,4	1,5	1,7
T teórico	1,5	1,46	1,46	1,46
Eliminar	227	217	295	351
Coef. Variación	10%	1%	6%	7%
Luego de eliminación de datos anómalos				
Promedio	264	223	266	301
Desv. Est	12	1,9	9,0	7,9
Coef. Variación	4%	1%	3%	2%

Fuente: Autor



**Tabla 14.** Precisión del Método SDT con las muestras reales

Numero Ensayos	MATERIAL SOLUBLE TOTAL mg/L			
	Campo Alegre	Barrancas	Papayal	Provincial
1	66	102	121	121
2	69	85	136	131
3	74	71	132	133
4	67	74	114	140
Promedio	69	84	126	131
Desv. Est	2,9	12	8,7	6,6
Núm. de datos	4	4	4	4
Mínimo	66	71	114	121
Máximo	74	102	136	140
T min	1,0	1,0	1,3	1,5
T máx.	1,6	1,6	1,2	1,3
T teórico	1,46	1,46	1,46	1,46
Eliminar	74	102	Ninguno	121
Coef. Variación	4%	15%	7%	5%
Luego de eliminación de datos anómalos				
Promedio	67	76	126	129
Desv. Est	1,3	6,2	8,7	5,1
Coef. Variación	2%	8%	7%	4%

Fuente: Autor

## 6.4 TAZA DE DEPOSICIÓN

El resultado del cálculo de la tasa de deposición de las cuatro muestras recolectadas en las estaciones de monitoreo, se puede observar en la tabla 14. Para el cálculo se tuvo en cuenta la resta del sulfato de cobre añadido a los contenedores debido a los problemas de formación de algas presentados en las muestras del Cerrejón y que según las investigaciones se ha demostrado que el sulfato de cobre es utilizado para inhibir este crecimiento (Song & Wang, 2015) (Heredia Avalos, 2006).

Se pudo determinar que tres de las cuatro estaciones superan el límite permitido por la Organización Mundial de la Salud de 5 g/m<sup>2</sup>/30 días de muestreo (Labajos, 2014) (Corleto & Dania, 2012) (Huallaro, 2008) (Villacrés Lupera, 2015).

**Tabla 15.** Taza de Deposición En las Estaciones de monitoreo

<b>Estaciones de Monitoreo</b>	<b>Taza de Deposición g/m<sup>2</sup>/ 30 días</b>
Campo Alegre	14,6
Barrancas	9,6
Papayal	6,5
Provincial	4,3

Fuente: Autor.

## 7. CONCLUSIONES

Se obtuvo un protocolo basado en los lineamientos del Sistema de Gestión de la Calidad del Laboratorio Ambiental de Corpoguajira, el cual servirá de guía para la realización de los análisis de Partículas de Polvos Sedimentables.

Se logró modelar y construir un equipo recolector de Partículas de Polvos Sedimentables, basado en la Norma NTC 3662, el cual es un aporte al crecimiento del Laboratorio Ambiental, puesto que contribuirá al sistema de vigilancia de la calidad del aire en el departamento de La Guajira.

Al realizar la validación de los métodos de Sólidos Suspendidos y Disueltos Totales y Material Insoluble y Soluble Total, se determinó que los ensayos que garantizan la confiabilidad de los resultados emitidos por el Laboratorio Ambiental para la determinación de Partículas de Polvos Sedimentables son SST y SDT, dado a que cumplen con las condiciones aceptables de precisión y exactitud definidas en el laboratorio.

Se calculó la tasa de deposición de Partículas de Polvos Sedimentables, de las cuatro estaciones de monitoreo de Cerrejón ubicadas en Campo Alegre, Barrancas, Papayal y Provincial. Encontrando que la mayoría de las estaciones presentan resultados por encima del límite máximo permitido por la Organización Mundial de la Salud y que la mayor concentración de partículas se encuentra en la comunidad indígena de Campo Alegre.

## 8. BIBLIOGRAFIA


- Ahora, c. (2009). corrosión del hierro en distintos tipos de aguas : una propuesta experimental, 2(l), 52–58.
- Alcaldía mayor de bogotá. (2009). elementos técnicos del plan decenal de descontaminación de bogota. parte 1: caracterización de material particulado y modelos receptores.
- Arciniégas, c. a. (2012). diagnóstico y control de material particulado, (34), 195–213. retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/luaz/n34/n34a12.pdf>
- Bravo vásquez, l. i. (2017). “determinación y caracterización de material particulado sedimentable en el casco urbano del cantón portovelo.” *universidad de cuenca*, 34,56.
- Calidad del aire ambiente (exterior) y salud. (n.d.). retrieved november 5, 2019, from [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- Camaro, m. l., catalá, v., gimeno, c., & martinez, r. (2013). *validación y verificación de los métodos microbiológicos*.
- Cáñez-carrasco, m. g., & garcía-alegría, a. m. (2015). validación de un método analítico para la determinación de fósforo por espectrofotometría ultravioleta-visible. *biotecnia*, 17(1), 32. <https://doi.org/10.18633/bt.v17i1.15>
- Corleto, a., & dania, c. (2012). comparación de los métodos de bergerhoff y placas receptoras para la cuantificación de polvo atmosférico sedimentable, 161. <https://doi.org/10.1017/cbo9781107415324.004>
- Corporación autónoma regional de la guajira corporación autónoma regional de la guajira. (n.d.). retrieved november 21, 2019, from <http://corpoguajira.gov.co/wp/>
- Doria argumedo, c. j., & fagundo castillo, j. r. (2017). caracterizacion quimica de material particulado fraccion respirable pm10 en la atmosfera de riohacha- la guajira colombia. *ingeniería investigación y desarrollo*, 17(1), 5–16. <https://doi.org/10.19053/1900771x.v17.n1.2017.4645>
- Ellison, s. l. r., & williams, a. (2012). guía cg 4 eurachem / citac cuantificación de la

- incertidumbre en medidas analíticas. *eurachem/citac*, 3rd editio, 133. retrieved from [http://www.citac.cc/quam2012\\_p1\\_es.pdf](http://www.citac.cc/quam2012_p1_es.pdf)
- Hd, h. c. (2018). conformational studies of diterpenoids from in vitro cultures of the liverwort *scapania nemorea*, 56(1990), 1990.
- Heredia avalos, s. (2006). experimentos de química recreativa con sulfato de cobre pentahidratado. *revista eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias*, 3(3), 467–484. [https://doi.org/10.25267/rev\\_eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2006.v3.i3.08](https://doi.org/10.25267/rev_eureka_ensen_divulg_cienc.2006.v3.i3.08)
- Huallaro, j., gutarra, f., cabrera, m., & valderrama, a. (2008). validación del método de tubos pasivos con filtros colectores para determinar la concentración de material sólido sedimentable en la ciudad universitaria de san marcos. *centro de desarrollo e investigación en termofluidos cedit*, 1(2), 42–48.
- Icontec. (2005). ntc-iso/iec 17025. *norma técnica colombiana*.
- Icontec. (1994). norma tecnica colombiana ntc 3662 gestion ambiental.
- Ideam. (2014). calidad del aire - ideam. retrieved september 23, 2019, from <http://www.ideam.gov.co/web/contaminacion-y-calidad-ambiental/calidad-del-aire>
- Ideam - instituto de hidrología, m. y e. a. (2014). calidad del aire - ideam. retrieved august 29, 2019, from <http://www.ideam.gov.co/web/contaminacion-y-calidad-ambiental/calidad-del-aire>
- Instagram, m., google, m., linked, m., youtube, m., & twitter, m. (n.d.). this file is uploaded by you can follow us.
- Labajos, p. o. (2014). universidad nacional agraria de la selva presentado por, 91. retrieved from <http://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/unas/615/t.frs-219.pdf?sequence=1&isallowed=y>
- Lilian paez. (2008). validación secundaria del método de filtración por membrana para la detección de coliformes totales y. *pontificia universidad javeriana*, 1–81. retrieved from <http://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ciencias/tesis221.pdf>
- Livio lattanzio. (2018). particulate matter sensing for air quality measurements | fierceelectronics. retrieved august 29, 2019, from

<https://www.fierceelectronics.com/components/particulate-matter-sensing-for-air-quality-measurements>

- Losacco, c., & perillo, a. (2018). particulate matter air pollution and respiratory impact on humans and animals. *environmental science and pollution research*, 25(34), 33901–33910. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3344-9>
- Mackinnon, i. d. r., uwins, p. j. r., yago, a., & page, d. (1993). kaolinite particle sizes in the <2 µm range using laser scattering. *clays and clay minerals*, 41(5), 613–623. <https://doi.org/10.1346/ccmn.1993.0410512>
- Matus c., p., & oyarzún g., m. (2019). impact of particulate matter (pm2.5) and children's hospitalizations for respiratory diseases. a case cross-over study. *revista chilena de pediatria*, 90(2), 166–174. <https://doi.org/10.32641/rchped.v90i2.750>
- Mayhua, w. a. c. (2017). universidad nacional agraria de la selva, 1–30.
- Ministerio de ambiente vivienda y desarrollo territorial. (2010). norma de calidad del aire o nivel de inmisión- resolución 610 (24 de marzo de 2010)., (610), 1–8. <https://doi.org/10.32641/rchped.v90i2.750>
- Ministerio de medio ambiente y desarrollo sostenible. (2017). 96-res 2254 de 2017.pdf.
- Montero, c. (2011). *maestra en ingeniería de calidad*. retrieved from <http://www.bib.uia.mx/tesis/pdf/015419/015419.pdf>
- Oms. (2005). actualización mundial 2005, 1–21.
- Para, d. e. r., salud, l. a., metales, p. o. r., en, p., & humano, a. d. e. c. (2016). contenido.
- Pereira, c. i., carvajal, a. f., milanés batista, c., & botero, c. m. (2019). regulating human interventions in colombian coastal areas: implications for the environmental licensing procedure in middle-income countries. *environmental impact assessment review*, 79(april), 106284. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2019.106284>
- Presidente, e. l. (2010). ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial decreto núñl~4821 de 2010, 2003, 2002–2003.

- res, a. i. (2005). un i versi d ad d e buen os. retrieved from [https://digital.bl.fcen.uba.ar/download/tesis/tesis\\_n3931\\_martin.pdf](https://digital.bl.fcen.uba.ar/download/tesis/tesis_n3931_martin.pdf)
- Rosenson, a. s., mintz, a., ali, a., & fordham, e. w. (1991). unsuspected finding on a gastric emptying study. *clinical nuclear medicine*, 16(10), 780–781. <https://doi.org/10.1097/00003072-199110000-00018>
- Sobre, d., terminolog, l. a., comit, e., internacional, v., anal, r., espec, t., ... estudio, l. (2009). *cac/gi 72-2009*, 1–17.
- Solanas, j. (2008). filtros de papel y membranas. *laboaragón*, 76. retrieved from [http://www.laboaragon.com/docs/marcas/whatman/whatman\\_catalogo\\_general.pdf](http://www.laboaragon.com/docs/marcas/whatman/whatman_catalogo_general.pdf)
- Song, l. y., & wang, y. q. (2015). investigation of microbial community structure of a shallow lake after one season copper sulfate algacide treatment. *microbiological research*, 170, 105–113. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2014.08.008>
- Standard methods for the examination of water and wastewater. american public health association, american water works association, water environment federation. 23rd ed, 2017.
- Villacrés lupera, m. f. (2015). evaluación de la contaminación atmosférica de la ciudad de ambato relacionada con el material particulado sedimentable. *facultad de ciencias, bachelor*, 137. retrieved from <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/4855>

	<b>MEDICIÓN Y ANÁLISIS AMBIENTAL</b>	CODIGO: MA-PR-105
	<b>SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES SECADOS A 103-105 °C SM 2540 D</b>	VERSION: FECHA: Página 5 de 7

muestras con bastantes sólidos disueltos (agua de mar ó pozos subterráneos), pueden requerir lavados adicionales. Detener la succión.

- Remover cuidadosamente el filtro del aparato y transferirlo al plato de aluminio o vidrio reloj. Secar por una (1) hora o más a 103 °C – 105 °C en horno; enfriar en desecador para equilibrar la temperatura, pesar y registrar en el formato datos para análisis de sólidos. Repetir el ciclo de secado, enfriado, desecado y pesado hasta lograr el peso constante, que se da cuando la diferencia entre los resultados sea menor de 0,5 mg.
- Para analizar la muestra siguiente, realice al equipo de filtrado un cuidadoso lavado con agua destilada o utilice otro montaje similar.

## 5. CÁLCULOS Y REPORTES

$$\text{Sólidos Suspendida Totales } mg / L = \frac{(A - B) * 1000000}{V}$$

Donde:

- A = Peso del filtro + el residuo seco (peso final), g  
 B = Peso del filtro (peso inicial), g  
 V = Volumen de muestra filtrado, mL

## 6. CONTROL DE CALIDAD DE DATOS

Especificaciones de Control de Calidad:

Estándares y muestras a analizar	Cantidad	Mínimo	Frecuencia
Duplicado de muestra.	1	1	Por cada lote de muestras
Patrón de 200 mg/L de Caolín	1	1	Por cada lote de muestras
Blanco	1	1	Por cada lote de muestras
Material de referencia certificado	1	1	Anualmente o participación en pruebas de desempeño

Nota: Debido a la sensibilidad de las balanzas, estas deberán encontrarse en condiciones adecuadas para su funcionamiento, razón por la cual, debe cumplirse con los requisitos indicados en el instructivo manejo de balanzas.]

## 7. BIBLIOGRAFÍA

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. 23rd ed. 2017.