

**EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES GENERADOS POR LA
PRESENCIA DE DIOXINAS, FURANOS Y dl-PCBS EN LOS RESIDUOS
SÓLIDOS URBANOS DEL VALLE DE SIBUNDOY, TRATADOS POR LA
EMPRESA DE ASEO ASVALLE S.A E.S.P**

**FREDY ALEJANDRO OVIEDO GÓMEZ
DANIEL FRANCISCO OVIEDO GÓMEZ
ESTUDIANTES**

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DEL PUTUMAYO
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA AMBIENTAL
SIBUNDOY, PUTUMAYO
2014**

**EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES GENERADOS POR LA
PRESENCIA DE DIOXINAS, FURANOS Y dl-PCBS EN LOS RESIDUOS
SÓLIDOS URBANOS DEL VALLE DE SIBUNDOY, TRATADOS POR LA
EMPRESA DE ASEO ASVALLE S.A E.S.P**

**FREDY ALEJANDRO OVIEDO GÓMEZ
DANIEL FRANCISCO OVIEDO GÓMEZ
ESTUDIANTES**

**EDWIN GIRALDO SÁNCHEZ TISOY
INGENIERO QUÍMICO**

**JAIRO LÓPEZ GUANCHA
INGENIERO AMBIENTAL
ASESORES**

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DEL PUTUMAYO
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA AMBIENTAL
SIBUNDOY, PUTUMAYO
2014**

NOTA DE ACEPTACIÓN

Presidente del Jurado

Jurado
Margarita Castillo R.

Jurado

Sibundoy, 3 de febrero de 2015.

DEDICATORIA

Con todo nuestro cariño y amor para las personas que hicieron todo en la vida para que pudiéramos lograr nuestros sueños, por motivarnos y darnos la mano cuando sentimos que el camino se terminaba, a ustedes por siempre nuestro corazón y agradecimiento.

CONTENIDO

| | Pág. |
|---|------|
| INTRODUCCIÓN..... | 9 |
| 1. PROBLEMA / DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA..... | 10 |
| 1.1 PROBLEMAS AMBIENTALES Y SANITARIOS QUE GENERABAN LOS ANTIGUOS BOTADEROS..... | 12 |
| 1.2 CONTAMINACIÓN ACTUAL | 13 |
| 2. JUSTIFICACIÓN | 15 |
| 3. OBJETIVOS..... | 17 |
| 3.1 OBJETIVO GENERAL | 17 |
| 3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 17 |
| 4. DIAGNOSTICO AMBIENTAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LA EMPRESA DE ASEO DEL VALLE DE SIBUNDOY ASVALLE S.A. E.S.P. | 18 |
| 4.1 DESCRIPCIÓN EMPRESARIAL DE ASVALLE S. A E.S.P. | 18 |
| 4.1.1 Localización.. .. | 18 |
| 4.2 RESEÑA HISTÓRICA DE LA EMPRESA ASVALLE S.A. ESP..... | 19 |
| 4.2.1 Misión..... | 21 |
| 4.2.2 Visión..... | 21 |
| 4.2.3 Objetivos estratégicos. | 21 |
| 4.2.4 Política de calidad.. .. | 21 |
| 4.2.5 Política ambiental.. .. | 22 |
| 4.3 Diagnóstico Ambiental.. .. | 24 |
| 4.3.1 Fuentes de agua cercana y nivel de afectación.. .. | 27 |
| 4.3.2 Comunidades afectadas directa o indirectamente..... | 27 |
| 4.4 DESCRIPCIÓN DE ZONAS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS | 27 |
| 4.4.1 Zona A: "residuos inorgánicos" .. | 29 |
| 4.4.1.1 Grupos de recuperadores y recicladores..... | 30 |
| 4.4.1.2 Bodega residuos inorgánicos..... | 30 |
| 4.4.1.3 Aprovechamiento del material.. .. | 31 |
| 4.4.1.4 Afectación al medio ambiente..... | 33 |
| 4.4.2 Zona b: "residuos orgánicos"..... | 33 |
| 4.4.2.1 Bodega residuos orgánicos..... | 34 |
| 4.4.2.2 Aprovechamiento del material.. .. | 35 |
| 4.4.2.3 Afectación al medio ambiente..... | 35 |
| 4.4.3 Formación de lixiviados. | 36 |
| 4.4.3.1 Efectos dañinos de los lixiviados..... | 37 |
| 4.4.4 Zona c: "predios sin infraestructura" .. | 37 |
| 4.4.5 Zona d: "predios aledaños a la planta de tratamiento" .. | 38 |
| 4.4.6 Zona e: "disposición final" .. | 38 |
| 5. IDENTIFICACIÓN ZONA DE MUESTRO | 39 |
| 6. DISEÑO METODOLOGICO..... | 42 |
| 6.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA | 42 |

| | |
|---|----|
| 6.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN..... | 42 |
| 6.3 RECOLECCIÓN DE MUESTRAS..... | 42 |
| 6.4 IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE PCDD, PCDFS Y DL-PCB'S PRESENTES EN LOS RESIDUOS SÓLIDOS, EL AGUA Y EL SUELO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO..... | 42 |
| 6.5 VALIDACIÓN DEL MÉTODO DE CUANTIFICACIÓN | 43 |
| 6.6 EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL GENERADO POR LA PRESENCIA DE DIOXINAS Y FURANOS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO . | 43 |
| 6.7 LÍNEA Y SUBLÍNEA..... | 43 |
| 7. RESULTADOS | 44 |
| 7.1 RECOLECCIÓN DE MUESTRAS..... | 44 |
| 7.1.1 Método de recolección directa.. | 44 |
| 7.1.2 Método del cuarteo.. | 45 |
| 7.2 IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE PCDD/PCDFS PRESENTES EN LOS RESIDUOS SÓLIDOS, EL AGUA Y EL SUELO DEL RELLENO SANITARIO | 47 |
| 7.2.1 Análisis de muestras..... | 47 |
| 7.2.2 Toma de la muestra.. | 49 |
| 7.2.3 Adición de los estándares de extracción.. | 49 |
| 7.2.4 Pre-tratamiento.. | 50 |
| 7.2.5 Limpieza.. | 50 |
| 7.2.6 Separación e identificación..... | 51 |
| 7.2.7 Condiciones del HRGC | 52 |
| 7.2.7.1 Inyección.: | 52 |
| 7.2.7.2 Programa de temperatura. | 52 |
| 7.2.8 Condiciones del MS/MS. | 53 |
| 7.2.9 Cuantificación por dilución isotópica. | 54 |
| 7.2.9.1 RRF. | 55 |
| 7.2.9.2 Concentración..... | 55 |
| 7.2.9.3 Concentración tóxica equivalente (TEQ) | 55 |
| 7.2.9.4 Porcentajes de recuperación de los patrones marcados con 13C | 56 |
| 7.2.10 Validación del método analítico | 61 |
| 7.3 EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL GENERADO POR PCDD/PCDFS Y PCB'S. PRESENTES EN MUESTRAS DE RESIDUOS SÓLIDOS | 62 |
| 7.3.1 Impacto En La Salud Humana. | 62 |
| 7.3.2 Criterios de evaluación matriz de impactos | 64 |
| 7.3.2.1 Ecuación De Valoración Ambiental..... | 65 |
| 8. CONCLUSIONES | 69 |
| 9. RECOMENDACIONES | 70 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 71 |

LISTA DE CUADROS

| | Pág. |
|---|------|
| Cuadro 1. Impactos que generaban los botaderos a cielo abierto reconocidos por los vecinos de estos en el valle de Sibundoy. | 13 |
| Cuadro 2. Manejo de residuos sólidos departamento del putumayo. | 20 |
| Cuadro 3. Impactos ambientales en la planta de tratamiento de la empresa Asvalle s. a E.s.p. | 26 |
| Cuadro 4. Promedio de generación de residuos, valle de Sibundoy durante 8 meses basados en facturas. | 28 |
| Cuadro 5. Residuos sólidos inorgánicos aprovechados y comercializados. | 32 |
| Cuadro 6. Residuos sólidos orgánicos tratados por la empresa Asvalle s.a E.s.p en un día de trabajo. | 35 |
| Cuadro 7. Rótulos para marcar las muestras. | 47 |
| Cuadro 8. Composición de los estándares marcados isotópicamente con ¹³ C adicionados a las muestras para la cuantificación por el método de dilución isotópica. | 49 |
| Cuadro 9. Condiciones del Inyector. | 52 |
| Cuadro 10. Condiciones de cromatógrafo. | 53 |
| Cuadro 11. Analitos de interés en la determinación de dioxinas y furanos. | 54 |
| Cuadro 12. Rango de porcentaje de recuperación de los compuestos marcados. | 57 |
| Cuadro 13. Comparación de Dioxinas, furanos y PCB's contenidos en las muestras de residuos sólidos, tomadas en el periodo 1, tiempo húmedo y el periodo 2 tiempo seco. | 58 |
| Cuadro 14. Comparación de Dioxinas, furanos y PCB's contenidos en las muestras de aguas, tomadas en el periodo 1, tiempo húmedo y el periodo 2 tiempo seco. | 59 |
| Cuadro 15. Comparación de Dioxinas, furanos y PCB's contenidos en las muestras de suelo, tomadas en el periodo 1, tiempo húmedo y el periodo 2 tiempo seco. | 60 |
| Cuadro 16. Datos de validación del método analítico de análisis de PCDD/PCDFs y PCB's. | 61 |
| Cuadro 17. Matriz de impactos ambientales. | 66 |
| Cuadro 18. Rango de clasificación de impactos ambientales negativos. | 68 |
| Cuadro 19. Clasificación de impactos ambientales negativos. | 68 |
| Cuadro 20. Calificación para porcentaje de concentración. | 68 |

LISTA DE FIGURAS

Pág.

| | |
|--|----|
| Figura 1. Localización general del valle de Sibundoy..... | 19 |
| Figura 2. Infografía del proceso de gestión integral de residuos sólidos Asvalle s. a E.s.pd | 23 |
| Figura 3. Organigrama de empresa Asvalle..... | 24 |
| Figura 4. Zonificación planta de tratamiento de residuos sólidos "Asvalle s. a E.s.p." | 29 |
| Figura 5. Descargue en área de manejo de residuos inorgánicos..... | 30 |
| Figura 6. Residuos Sólidos Inorgánicos..... | 31 |
| Figura 7. Manejo de residuos sólidos inorgánicos. | 31 |
| Figura 8. Descargue en área de manejo de residuos orgánicos. | 34 |
| Figura 9. Proceso De La Producción De Abono Tipo Compost..... | 35 |
| Figura 10. Compostera..... | 39 |
| Figura 11. Lixiviados..... | 39 |
| Figura 12. Quema de llantas..... | 40 |
| Figura 13. Ripio abono orgánico | 40 |
| Figura 14. Residuos abandonados. | 40 |
| Figura 15. Quema de residuos..... | 40 |
| Figura 16. Cultivos internos. | 41 |
| Figura 17. Residuos inorgánicos..... | 41 |
| Figura 18. Cultivos aledaños. | 41 |
| Figura 19. Toma muestras agua. | 44 |
| Figura 20. Toma de muestra de residuos sólidos..... | 45 |
| Figura 21. Toma de muestra cenizas..... | 45 |
| Figura 22. Toma de muestra de suelo con tubo biselado..... | 46 |

INTRODUCCIÓN

La empresa de Aseo Acueducto y Alcantarillado del Valle de Sibundoy, "ASVALLE". S.A. ESP., es una empresa prestadora de servicios públicos domiciliarios, en el momento prestando el servicio de aseo y/o recolección, manejo y disposición de los residuos sólidos domiciliarios del Valle de Sibundoy, este servicio es prestado a los habitantes del área urbana del Valle de Sibundoy en el departamento del putumayo.

La empresa debido a que tiene establecido la política de calidad y política ambiental y entre sus valores se encuentra la responsabilidad Social y Ambiental, lo cual impulsa a que se lleven a cabo proyectos que velen por la protección y conservación de los recursos naturales, por lo que posibilita generar alternativas viables para la empresa y para el medio ambiente. Sin embargo hasta el momento solo se han implementado planes de manejo ambiental para los procesos de: Tratamiento y Disposición Final de Residuos Sólidos Asimilables a Domésticos, por lo cual se hace necesario complementar estos planes ya existentes con otros planes de tipo investigativo que apunten a descubrir los impactos negativos hacia el medio ambiente, y las posibilidades de mejoramiento, corrección y mitigación de los mismos mediante los manejos de los demás procesos que hacen parte del organigrama de la empresa y que generan a su vez impactos ambientales considerables, por lo que se propone desde este trabajo de grado un Plan de reconocimiento y evaluación de impactos ambientales producidos por dioxinas, furanos y dl-PCBs en la planta de tratamiento de residuos sólidos del Valle de Sibundoy.

Con lo cual el presente trabajo se desarrolla en la planta de aprovechamiento de residuos sólidos, de la empresa "ASVALLE". Y se opta por una metodología que inicia desde un diagnóstico general de la empresa particularmente de la planta de aprovechamiento, en cada uno de los procesos con los que se cuenta, identificando las actividades, recursos y productos que obtienen en cada proceso, luego de haber identificado los aspectos e impactos ambientales se procedió a formular las actividades ambientales a realizar para prevenir, mitigar y controlar los impactos ambientales generados por Dioxinas, Furanos y dl-PCBs, procedentes de las diferentes actividades de la planta de aprovechamiento de la empresa.

1. PROBLEMA / DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Durante las últimas décadas, la relación entre el desarrollo humano y medio ambiente ha sido evidenciada como uno de los conflictos más significativos, pasando a formar parte importante de las consideraciones tenidas en cuenta en las agendas económicas, políticas, ambientales y ciudadanas en el plano internacional y local. Ello puede atribuirse a una creciente visibilidad de impactos negativos del desarrollo social y humano sobre los recursos naturales y el equilibrio ecológico.¹

Los impactos se manifiestan en problemáticas no solo del corte social sino ambiental, los cuales adquieren especial relevancia en organizaciones multilaterales públicas y privadas, es por ello que la Organización de las Naciones Unidas, creó los objetivos del milenio con el fin de contribuir a la mejora de las problemáticas socio ambientales.²

El inadecuado manejo y disposición de los residuos sólidos genera diversos efectos en la salud; debido a que existen distintos vectores de enfermedades asociados con la inadecuada gestión de estos, y en el medio ambiente; “los residuos contaminan el suelo y mantos acuíferos por la generación de lixiviados y contaminan el aire cuando son quemados”³, hoy en día es uno de los problemas ambientales más complejos que tiene la sociedad. Los residuos sólidos son considerados, dentro de una gran variedad de materiales sólidos, también algunos líquidos, que se tiran o rechazan por estar gastados, ser inútiles, sin valor o estar en exceso. Estos pueden ser domésticos industriales agrícolas, comerciales, urbanos, residuos voluminosos y de construcción y están presentes en la mayoría de actividades que realiza de manera cotidiana el hombre. “La estructura socioeconómica y geográfica de un asentamiento humano, permite establecer en términos generales que los residuos domiciliarios o residenciales representan entre 50-75% de los RSU en América Latina; los comerciales constituyen entre 10-20%, los institucionales conforman entre 5-15%, los residuos provenientes de servicios municipales representan entre 10-20% y finalmente, los residuos de pequeñas industrias conforman del 5-30% del total de RSU”.

¹ Paz Aedo María. Dimensiones sociales de los problemas ambientales en la región metropolitana de Chile, a través de un análisis de caso. Agosto 2005. Designación de Trabajo de Grado (Sociología). Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Sociales. Departamento de Sociología.

² Informe De Objetivos De Desarrollo Del Milenio De La ONU De 2010. Consultado el 25 de Septiembre de 2014. Disponible en:

http://www.un.org/es/comun/docs/?path=/spanish/millenniumgoals/pdf/MDG_Report_2010_SP.pdf

³ SÁNCHEZ, Griselda. Diagnóstico de la problemática de los residuos sólidos urbanos en el municipio de Ciudad Ixtepec, Oaxaca, tesis para obtener el título en ingeniería ambiental. México, 2005, p. 4.

La acumulación de residuos sólidos y la presencia de un alto contenido de humedad en la materia orgánica fácilmente degradable, evidencia entre muchos contaminantes la presencia de dioxinas, furanos y dl-PCBs; compuestos orgánicos persistentes (POCs), que al no ser lixiviables, su concentración podrá estar presente como materia sólida absorbida o pequeñas cantidades de emisiones, convirtiéndose así en uno los contaminantes más importantes producidos por los residuos sólidos que ocupan un gran volumen poblacional.

A nivel mundial, en los últimos años se ha incrementado la preocupación por los efectos perjudiciales para salud y medio ambiente que producen las emisiones de compuestos orgánicos persistentes debido al alto grado de dispersión que pueden alcanzar y a su gran estabilidad química, contribuyendo a problemas ambientales para los recursos naturales y los seres vivos; potenciado por la formación de smog fotoquímico y destrucción de la capa de ozono⁴, su formación espontánea deriva de un gran número de procesos industriales, como la combustión de compuestos que poseen en su estructura moléculas de carbono y cloro, siendo la principal fuente de emisión atmosférica los incineradores de residuos peligrosos, de residuos domésticos, de residuos hospitalarios o el uso de residuos peligrosos como combustible alternativo en los hornos de cemento⁵, y aunque es evidente que el mayor impacto ambiental es en el recurso aire, los recursos como el suelo y el agua también se han visto afectados debido a los ciclos naturales que ocurren en cada uno, pues las dioxinas, furanos y dl-PCBs no solo han sido catalogados como altamente tóxicos, sino también como compuestos bioacumulables y persistentes. Sin embargo a pesar de los mencionados problemas ambientales, en la actualidad la incineración se ha recomendado para la disposición de residuos peligrosos porque permite disminuir el peso y volumen de los mismos, a la vez que se puede recuperar con cierta facilidad la energía liberada en forma de electricidad⁶.

Para el caso colombiano, las políticas internacionales han influido sustancialmente en el desarrollo de estrategias que regulan el funcionamiento de organizaciones públicas y privadas, las cuales tienen relación directa e indirecta en el medio ambiente, dichas estrategias se enmarcan en la inclusión del componente ambiental de la constitución política y la consiguiente creación de la Ley 99 de 1993, quien fuera la precursora de la creación del Ministerio de Medio Ambiente.

⁴ KNAPP, Carlos. Procesos para la reducción de emisiones gaseosas de compuestos organoclorados, Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo CYTED, Agosto 1998, 61-66.

⁵ ABAD, Esteban et al. Supercritical fluid process for removal of polychlorodibenzodioxin and dibenzofuran from fly ash. En: Environmental Progress. Vol. 18, 1999, 40-49.

⁶ TAYLOR, Eighmy. Comprehensive approach toward understanding element speciation and leaching behavior in municipal waste incineration electrostatic precipitator ash. En: Environmental Science and Technology. Vol. 29, 1995, 629-646.

Con esto a nivel nacional las resoluciones 0886 de 27/07/2004 y 909 de 5/06/2008 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial especifican las cantidades máximas de emisión de dioxinas y furanos para incineradores de residuos sólidos y líquidos, con niveles similares a los establecidos internacionalmente.

En el departamento del Putumayo, los residuos sólido generados son llevados a los rellenos sanitarios en donde no existen o no están en funcionamiento hornos de incineración de residuos sólidos, por lo que las emisiones por dioxinas, furanos y dl-PCBs no contribuyen en gran medida a la contaminación atmosférica, por lo tanto el problema se centra principalmente en la concentración de dioxinas, furanos y dl-PCBs en los residuos sólidos, en los suelos y fuentes hídricas cercanas a las instalaciones de los rellenos sanitarios, por lo tanto este trabajo tendrá como objetivo determinar la presencia de dioxinas, furanos y dl-PCB's en la planta de tratamiento de residuos sólidos del valle de Sibundoy.

En el municipio de Sibundoy, la generación de residuos sólidos es un problema que a través de los años ha venido incrementándose principalmente por el desarrollo urbanístico mal planificado del municipio asociado al crecimiento poblacional y desconocimiento e incumplimiento de la normatividad ambiental en cuanto al manejo y disposición final de los residuos sólidos por parte de la comunidad y algunas entes territoriales, en el Valle de Sibundoy los sitios de disposición final eran tres ubicados en las veredas: Balsayaco para el municipio de Santiago a 30 metros del río Putumayo que sufría el efecto del deslizamiento de dichos residuos a su cauce. El canal D para el municipio de Colon, donde los residuos eran cubiertos de manera errónea con el material extraído del mismo canal. Las dársenas en la vereda San Félix era el lugar de disposición final de los residuos para los municipios de San Francisco y Sibundoy, el común denominador para estos tres sitios era la proliferación de vectores, focos de enfermedades, pues estos debido a las malas prácticas eran botaderos a cielo abierto, a partir del año 2001 se viene desarrollando en el Valle de Sibundoy un proceso de manejo integral de residuos sólidos que permitió la clausura de estos botaderos, la Empresa de Aseo del Valle de Sibundoy ASVALLE, hace que los residuos de todo el Valle de Sibundoy sean depositados en la planta de tratamiento, en donde se aprovechan y la disposición final sea en el relleno sanitario Anthanas en el departamento de Nariño.

1.1 PROBLEMAS AMBIENTALES Y SANITARIOS QUE GENERABAN LOS ANTIGUOS BOTADEROS⁷

⁷ Plan de restauración Ambiental de los antiguos botaderos de basura a cielo abierto de los municipios de Santiago, Colón, Sibundoy y San Francisco, Departamento del Putumayo 2003.

Los impactos que generaba la disposición de residuos en estos sitios, eran: enfermedades a las personas, principalmente granos en la piel, proliferación de insectos como zancudos y moscas, malos olores, enfermedades en los animales que recurrían a estos lugares en busca de alimento, proliferación de ratones, ratas, y contaminación del agua; por lo cual los habitantes de las veredas eran los más afectados, ya que lo anterior les generaba molestias de diferente índole, afecciones y enfermedades no solo al ser humano sino a sus animales. Véase cuadro 1.

Cuadro 1. Impactos que generaban los botaderos a cielo abierto reconocidos por los vecinos de estos en el valle de Sibundoy.

| IMPACTOS QUE GENERABA | | LE AFECTABA O BENEFICIABA | |
|-----------------------------|---------|---------------------------------------|---------|
| DETALLE | % | DETALLE | % |
| Enfermedades a las Personas | 30,80% | Si le afectaba | 100,00% |
| Zancudos | 15,40% | Le beneficiaba | 0,00% |
| Moscas | 15,40% | RAZONES | |
| Malos olores | 15,40% | Enfermedad a las personas | 40,00% |
| Enfermedades a los animales | 12,80% | Molestias por los malos olores | 33,40% |
| Ratones | 5,10% | Molestias causadas por el mal aspecto | |
| Contaminación del agua | 5,10% | (Contaminación Visual) | 13,30% |
| | | Molestias causadas por los insectos | 13,30% |
| TOTAL | 100,00% | TOTAL | 100,00% |

Fuente: Plan de restauración ambiental de los antiguos botaderos de basura a cielo abierto de los municipios de Santiago, Colón, Sibundoy y San Francisco, Departamento del Putumayo 2003.

1.2 CONTAMINACIÓN ACTUAL

Existen en el Valle de Sibundoy, tres lotes de terreno, con una extensión superficial de 8.500 m²⁸ que se encuentran afectadas ambientalmente por la disposición inadecuada de los residuos sólidos que anteriormente realizaban los municipios. Aunque en una visita al lugar no se alcanzan a percibir, este sitio sigue causando contaminación ambiental y afecciones a los moradores vecinos. En

⁸ Ibid, p. 6.

primer lugar se puede constatar la contaminación visual o estética debido a que muchos residuos quedaron sin taparlos; por causa del viento y el agua se han ido dispersando. Los más notables son los plásticos, vidrios, y chatarra.

Sin embargo, con el sistema existente aún existen efectos producidos por la operación inadecuada de los residuos, en lo que se refiere a manejo de lixiviados, residuos orgánicos e inorgánicos. Estos efectos vienen generando impactos ambientales negativos en su área local y en las áreas circundantes afectando a las comunidades y agricultores ubicados en cercanías a la planta, de ahí que el estudio permite desarrollar una perspectiva solo a unos agentes contaminantes, es así como la presente línea de investigación permitirá el estudio y evaluación de los impactos generados por dioxinas, furanos y dl-PCB's en la planta de tratamiento de residuos sólidos del valle de Sibundoy.

2. JUSTIFICACIÓN

Dado que los recursos naturales participan en el desarrollo de los procesos biológicos de las plantas, las aves, los insectos y los seres humanos estos no pueden ser alterados por contaminantes emitidos o dispuestos por actividades antropogénicas; como es la generación de residuos sólidos y su acumulación a tiempos prolongados de degradación, por esta razón nace la iniciativa de identificar la presencia de dioxinas, furanos y dl-PCBs. presentes en muestras de residuos sólidos tomadas en la planta de tratamiento de la empresa de aseo del Valle de Sibundoy. La contaminación de los recursos naturales, como el suelo, las fuentes hídricas y el aire afecta el diario vivir, manifestándose de diferentes formas en el organismo de los seres vivos, que según el tiempo de exposición pueden aumentar su concentración en el cuerpo receptor y en las vías de transporte.

Los seres humanos se pueden exponer a las dioxinas, furanos y dl-PCBs a través del aire, el agua, el suelo, los alimentos, el contacto dérmico y en algunas situaciones laborales. Sin embargo, muchos estudios han demostrado que más del 90% de la exposición a estos compuestos es a través de la cadena alimenticia. En 2002 la OMS recomendó una ingesta diaria tolerable (TDI) de 2 pg WHO-TEQ por kilogramo de peso corporal⁹. Para disminuir la ingesta diaria de dioxinas en humanos hasta los valores recomendados, se deben controlar todos los focos de contaminación y realizar monitoreo constante en todo tipo de matrices para determinar el nivel de contaminación del ambiente, los alimentos y los seres humanos. Por esta razón, desde hace algunos años el manejo de los residuos sólidos ha sido objeto de gran preocupación debido al alto potencial de contaminación, no sólo de las emisiones gaseosas debido a procesos de incineración sino también de los residuos sólidos y líquidos acumulables que genera. Los niveles de dioxinas, furanos y dl-PCBs se encuentran regulados. Generalmente, el valor límite es de 0.1 ng I-EQ/Nm³.

Por esta razón una óptima calidad de vida y un ambiente sano a la que actualmente se tiene derecho exige que el equilibrio de la naturaleza no sea modificado¹⁰. El hombre debe aprender que el ambiente no es algo que pueda manejar según su voluntad, sino que él debe integrarse para tener una vida mejor. Un paso importante para mejorar sería, que el hombre cambie su actitud interna hacia su ambiente respetando sus valores y derechos. Por eso es necesario crear una cultura basada en el respecto a la conservación de los recursos naturales.

⁹UK Department for Environment, Food and Rural Affairs. In: Dioxin and Dioxin-like PCBs in the UK environment.

<http://www.scotland.gov.uk/Publications/2002/10/15655>, 2013.

¹⁰ P. Furst+, C. Furst and W. Groebel, "Levels of PCDDs and PCDFs in food-stuffs from the Federal Republic of Germany". Chemosphere, 20 (1990) 787-792.

Existen diversos modos de evitar la contaminación de los recursos naturales por exposición a dioxinas, furanos y dl-PCBs, el convenio de Estocolmo declara que los residuos como las dioxinas y los furanos pueden ser tratados de tal manera que su tratamiento sea amigable con el medio ambiente¹¹, el convenio de Estocolmo fue firmado con el fin de disminuir la emisión de los Compuestos Orgánicos Persistentes (COPs) de origen antropogénico, incluyendo las dioxinas, furanos y dl-PCBs. La gran atención que se ha prestado a estos compuestos se debe no sólo a su alta toxicidad, sino también a su gran persistencia en el ambiente, resistencia a la biodegradación y su bioacumulación en los ecosistemas terrestres y acuáticos¹².

Esta línea de investigación incide en la mejora de la calidad de vida, salud y protección de los ecosistemas a través de un conocimiento científico más preciso de los procesos aportando a las personas o instituciones información relevante sobre todo lo relacionado con la contaminación de los recursos naturales por parte del mal manejo de los residuos sólidos y el daño que esto puede ocasionar a la humanidad incluyendo al planeta. Asimismo, las personas tendrán más conocimientos que conllevarán a elevar la importancia sobre la generación elevada de residuos sólidos, pues su volumen acumulado genera gran daño al suelo, al agua, al aire y mediante la cadena alimenticia a la humanidad, en la actualidad los recursos naturales se han visto afectados gracias a la mano del hombre, que en su subsistir crea necesidades que destruyen más al planeta, sin darse cuenta de las consecuencias que esto puede ocasionar.

El objetivo de la presente línea de investigación es el de contribuir con la gestión ambiental de la empresa de aseo ASVALLE en el Valle de Sibundoy, aplicando el manejo eficiente de los residuos sólidos, generados por los municipios y que cuales son llevados la planta de tratamiento, evitando así la generación de contaminantes persistentes como las dioxinas, furanos y dl-PCBs que a diario contribuyen con la contaminación ambiental.

¹¹ F. Zhang, J. Chen, H. Zhang, Y. Ni, Q. Zhang, X. Liang, "Dechlorination of dioxins with Pd/C in ethanol-water solution under mild conditions". *Separation and Purification Technology*, 59, 2008, 164-168

¹² J. M. Llobet, R. Martí-Cid, V. Castell, J. L. Domingo, "Significant decreasing trend in human dietary exposure to PCDD/PCDFs and PCBs in Catalonia, Spain" *Toxicology. Letters*. (2008), doi:10.1016/j.toxlet.2008.02.012.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar los impactos ambientales generados por la presencia de dioxinas, furanos y dl-PCBs en los residuos sólidos urbanos del Valle de Sibundoy, tratados por la empresa de aseo ASVALLE S.A E.S.P.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un diagnóstico general del estado y procesos llevados a cabo en la planta de tratamiento de la empresa ASVALLE S.A E.S.P.
- Identificar dioxinas, furanos y dl-PCBs presentes en los residuos sólidos de la planta de tratamiento.
- Caracterizar, cuantificar y evaluar el impacto ambiental generado por la presencia de dioxinas, furanos y dl-PCBs en los residuos sólidos acumulados en la planta de tratamiento y los recursos naturales cercanos a ella.

4. DIAGNOSTICO AMBIENTAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LA EMPRESA DE ASEO DEL VALLE DE SIBUNDOY ASVALLE S.A. E.S.P.

4.1 DESCRIPCIÓN EMPRESARIAL DE ASVALLE S. A E.S.P.

4.1.1 Localización. Al Suroccidente de Colombia, estribaciones del Macizo andino en la región Amazónica, nororiente del departamento de Putumayo, subregión andino-amazónica, se encuentra ubicado el Valle de Sibundoy conformado por los municipios de Santiago, Colón, Sibundoy y San Francisco. Sus coordenadas geográficas son 1°12'12" de latitud norte y 76°51'15" de longitud al oeste de Greenwich. Se encuentra sobre los 2.000 msnm. En su parte plana y los 3.300 msnm. en la parte más alta. Posee una extensión de 526 Km² de los cuales 8500 ha corresponden a zonas planas y 44100 ha a zonas de ladera y montaña Esta subregión hace parte de la hoya alta del río Putumayo, desde su nacimiento en el complejo paramuno de Cascabel, hasta la salida en la "garganta del Balsayaco" formada por el cañón del volcán Patascoy al occidente y las montañas del Portachuelo al oriente. Esta región hace parte de la Gran Cuenca hidrográfica del Río Amazonas, al constituirse como parte de la Cuenca Alta del Río Putumayo.

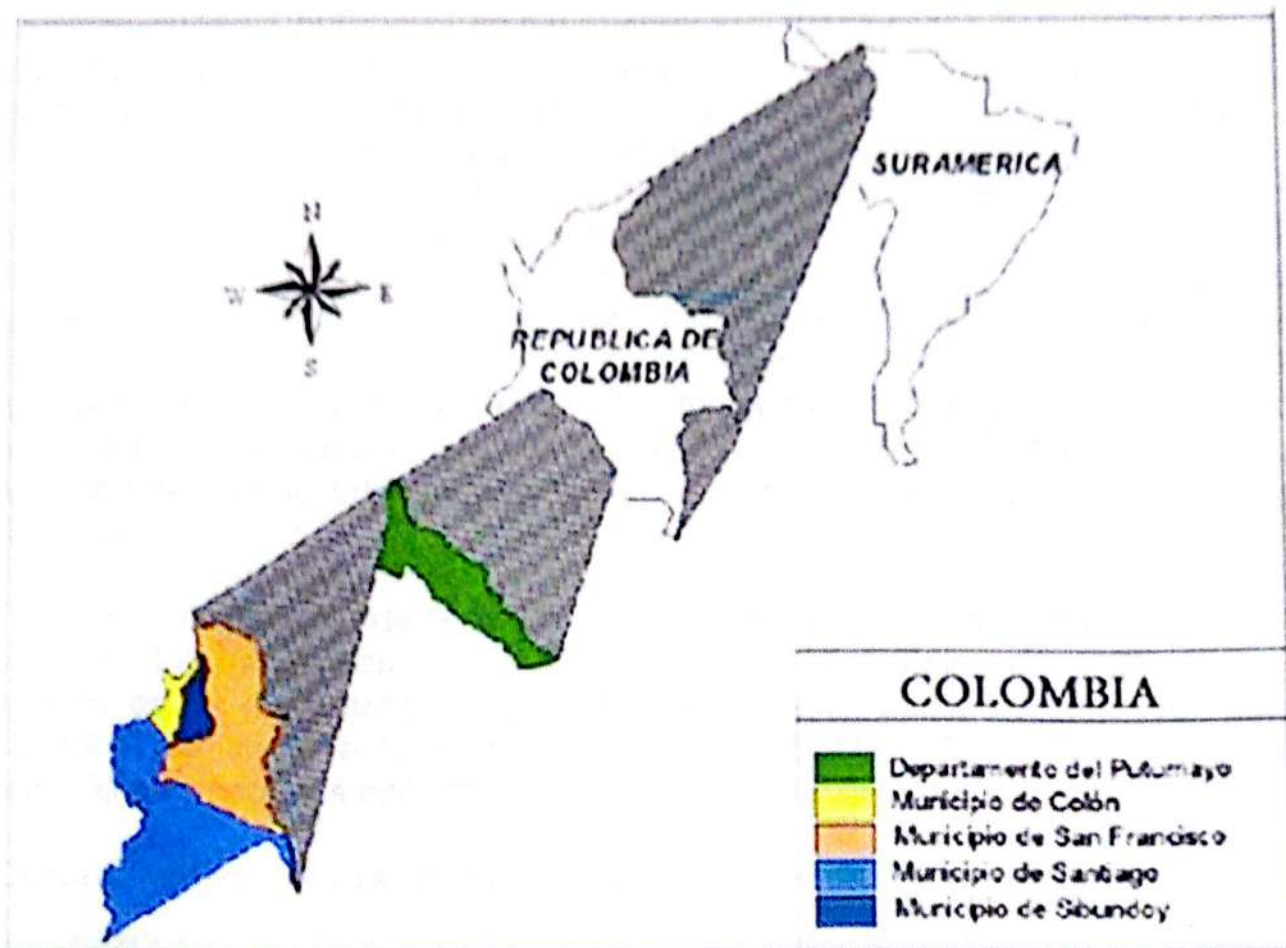
Los límites del Valle de Sibundoy son: al norte con el Cerro de Bordoncillo y la montaña Cascabel; al sur con el Volcán Patascoy; al oriente con el Cerro Portachuelo; al occidente con los ramales de Bordoncillo y Cascabel.¹³

La planta de tratamiento de residuos sólidos de la empresa ASVALLE S.A E.S.P. se ubica en la vereda Las Palmas del Municipio de Sibundoy, en el departamento del Putumayo.

El lugar donde se procesan, separan, embalan y aprovechan los residuos sólidos del Valle de Sibundoy se encuentra situado a 4 Km del casco urbano del Municipio de Sibundoy por vía veredal en mal estado, en las coordenadas geográficas N 10°11'30.6" y W 76°56'12.4".

¹³ Plan de manejo ambiental de los humedales de la parte plana del Valle de Sibundoy 2006 pág 28.

Figura 1. Localización general del valle de Sibundoy.



Fuente: Corpoamazonia 2014

4.2 RESEÑA HISTÓRICA DE LA EMPRESA ASVALLE S.A. ESP.¹⁴

Desde el año 2002 se inició la implementación de la Gestión Integral de Residuos Sólidos bajo un esquema regional que incluyó los municipios de Santiago, Colón, Sibundoy y San Francisco (departamento del Putumayo). Este proceso fue liderado por la Corporación para el Desarrollo Sostenible del Sur de la Amazonia Colombiana – Corpoamazonia y las cuatro administraciones municipales, en cabeza del alcalde de la época del municipio de Sibundoy, y mediante la vinculación y apoyo decidido de la comunidad. Uno de los logros del proceso fue la constitución de una empresa prestadora del servicio público de aseo, denominada inicialmente como EMAVSI, y actualmente como ASVALLE S.A. E.S.P, la cual opera el servicio de aseo en los 4 municipios.

¹⁴ Programa para la prestación del servicio de aseo, Valle de Sibundoy Departamento del Putumayo. Abril 2014.

Actualmente, la empresa ASVALLE S.A E.S.P, atiende 5.070 suscriptores, que representan aproximadamente 24.334 habitantes valle de Sibundoy 2014, que producen 328,51 toneladas mensuales de residuos sólidos generados en el valle de Sibundoy aproximadamente, de las cuales la empresa trata 227,73 toneladas mensuales correspondientes a: 113,97 toneladas son residuos sólidos orgánicos y 113,76 toneladas son residuos inorgánicos. El sistema de almacenamiento, recolección y tratamiento de los residuos sólidos existente en la actualidad permite incorporar al ciclo productivo 127,61 toneladas, que representan el 38,8% del total de residuos generados; 37,79 toneladas recolectadas y comercializadas por grupos independientes representando 11,5%; y 62,99 toneladas que no reportan datos, representado en un 19.1%, se considera que los residuos orgánicos son aprovechados en huertas caseras y los residuos inorgánicos son depositados en fuentes hídricas, lotes o quemas. El 30,6% restante es dispuesto en el relleno sanitario Anthanas en convenio con la empresa EMAS de la ciudad de pasto (Nariño).

El sistema de manejo de residuos sólidos implementado, ha logrado posicionar al Valle de Sibundoy, como la región modelo en el manejo adecuado de residuos sólidos en el departamento del Putumayo y municipios vecinos (ver siguiente cuadro), así como a la Empresa ASVALLE S.A E.S.P como el operador del servicio de aseo más eficiente en el departamento del putumayo.

Cuadro 2. Manejo de residuos sólidos departamento del putumayo.

| Municipio | Ton/día | Disposición final | Ton/día |
|------------------|-----------------|---|-------------------|
| | Aprovechamiento | | Disposición final |
| Mocoa | 2,3 | Relleno Local – Celda Transitoria – 8 meses | 32 |
| Puerto Leguízamo | 0,3 | Botadero a cielo abierto | 7,2 |
| Orito | 0,3 | Celda de emergencia | 12,5 |
| Puerto Asís | 0 | Celda Transitoria | 31,27 |
| Puerto Caicedo | 0,4 | Celda emergencia | 8,5 |
| Puerto Guzmán | 0,4 | Celda Transitoria | 5,2 |
| San Miguel | 0 | Celda Transitoria | 7 |

Continuación (Cuadro 2.)

| Municipio | Ton/día | Disposición final | Ton/día |
|---|-----------------|--|-------------------|
| | Aprovechamiento | | Disposición final |
| Colón, San Francisco, Santiago y Sibundoy | 5,2 | Relleno Anthanas - EMAS de Pasto (Nariño) | 3,9 |
| Valle del Guamúz | 0 | Celda Transitoria y botadero a cielo abierto | 10,3 |
| Villagarzón | 0 | Celdas emergencia | 12,5 |
| Subtotal | | Disposición final | 99,1 |

Fuente: Corpoamazonia. 2014

4.2.1 Misión. Crear un ambiente saludable, para que usted, los suyos y las generaciones futuras, puedan vivir mejor.

4.2.2 Visión. Ser la empresa líder a nivel regional en productos y servicios asociados a la gestión integral y responsable de los residuos sólidos.

4.2.3 Objetivos estratégicos. La Empresa de aseo, acueducto y alcantarillado del Valle de Sibundoy - ASVALLE S.A E.S.P, ha definido como objetivos estratégicos para las vigencias 2013-2015, los siguientes:

Crear valor económico basado en el mejoramiento de los procesos y control de costos, eficiencia operacional, diversificación del negocio, reducción de la morosidad y la generación de satisfacción del cliente.

Crear valor ambiental a partir de la administración eficiente de los impactos ambientales y el fortalecimiento de la cultura ciudadana en torno al manejo adecuado de los residuos sólidos.

Crear valor social a partir del fortalecimiento del aprendizaje y conocimiento del capital humano asociado al manejo de los residuos sólidos, y el mejoramiento de las relaciones efectivas con grupos de interés, especialmente con los grupos de recuperadores y recicladores existentes en la región.

4.2.4 Política de calidad. Brindamos con calidad el servicio público domiciliario de aseo, así como la generación y venta de abono orgánico, la disposición transitoria de residuos sólidos inservibles, la reincorporación de material a la industria, la

gerencia interventora de proyectos, en general todos los productos y servicios ofertados por la empresa, con un enfoque basado en la gestión por procesos y talento humano aplicando principios de eficiencia y eficacia; suministrando a los clientes y otras partes interesadas, el cumplimiento de sus requisitos con responsabilidad Empresarial, Social y Ambiental; proyectando el crecimiento de la oferta de servicios y productos garantizando la sostenibilidad y crecimiento económico de la empresa.

4.2.5 Política ambiental. La Empresa ASVALLE S.A. E.S.P, en el desarrollo de sus procesos, se compromete a cumplir con los lineamientos legales, técnicos y ambientales vigentes, buscando promover el uso racional de los recursos naturales utilizados por la Empresa, en el marco de la mejora continua y desarrollo sostenible del medio ambiente.

Además se compromete a prevenir y mitigar los impactos ambientales resultantes de la prestación del servicio público, buscando la optimización de los recursos disponibles mediante el cumplimiento de objetivos y metas ambientales.

En la siguiente gráfica se indica la infografía del proceso de gestión integral de residuos sólidos que ha implementado la empresa ASVALLE S.A E.S.P, así como los procesos de manejo, tratamiento y aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos e inorgánicos.



Figura 2. Infografía del proceso de gestión integral de residuos sólidos Asvalle s. a E.s.p.d

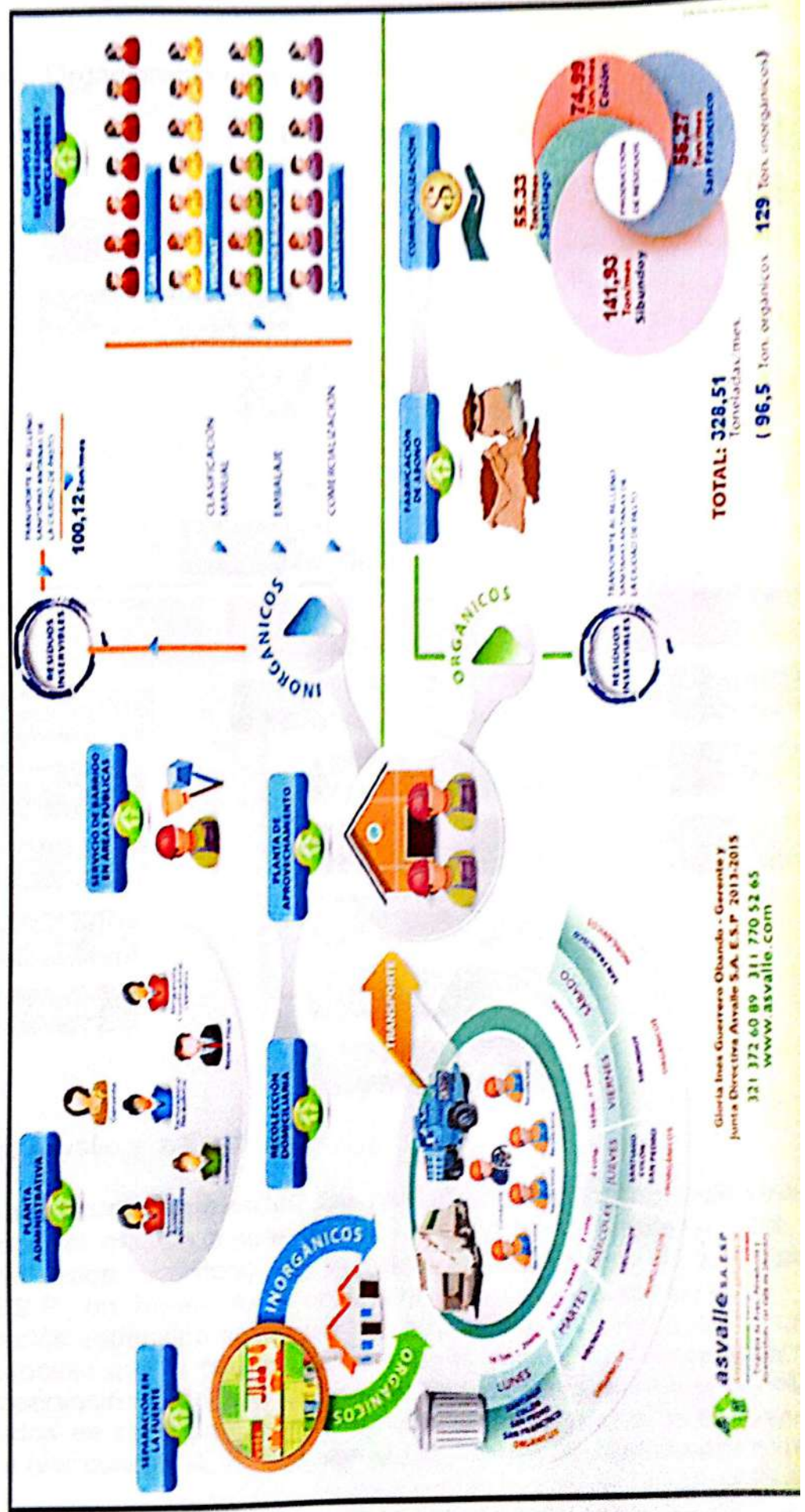
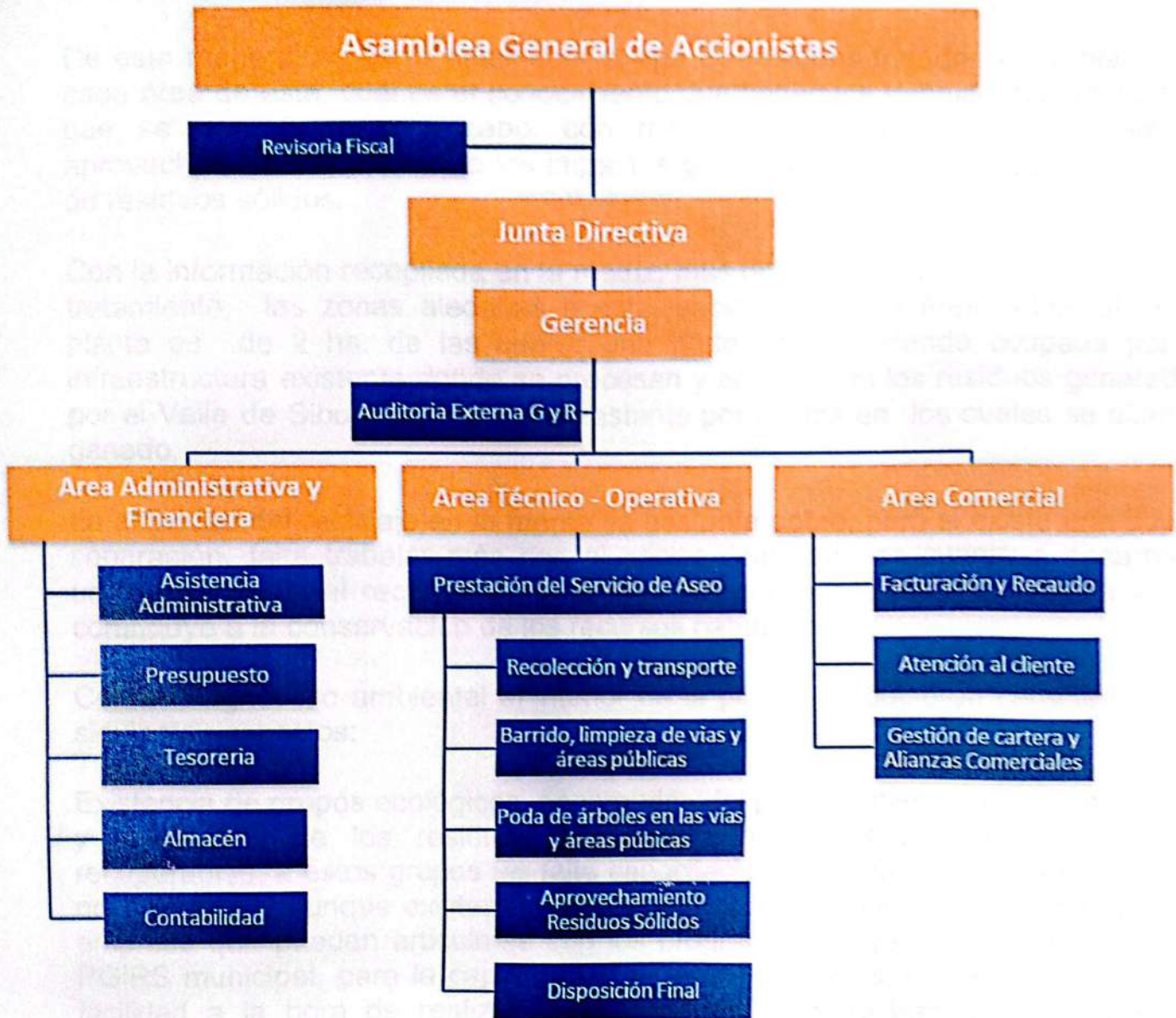


Figura 3. Organigrama de empresa Asvalle.

Estructura organizacional



Fuente: Asvalle s. a E.s.p. 2014.

4.3 Diagnóstico Ambiental. Se realizó un diagnóstico preliminar que permitió establecer el manejo actual de los residuos en la empresa; este diagnóstico se basó en varios recorridos por la planta de tratamiento de la empresa ASVALLE S.A E.S.P, en horas de la mañana y en horas de la tarde, para recopilar información específica sobre las entradas y salidas de los residuos sólidos en de cada proceso que la planta maneja. En el transcurso de los recorridos se realizó una observación detallada de los diferentes componentes, y posibles impactos generados en cada una de las áreas y se realizó una matriz preliminar que los resume (ver cuadro 3), ya que son estos los que afectan directa o indirectamente a

los recursos naturales y al hombre, en conjunto a esto se realizaron charlas con los operarios de la planta pues son ellos los que conocen exactamente la materia prima (residuos sólidos) que manejan, como ingresa y como finaliza después de cada proceso, con sus excedentes.

De esta manera, se pudo establecer el tipo de residuos tratados en la planta en cada área de esta, cuál es el conocimiento que tienen los trabajadores, el manejo que se está llevando a cabo, con respecto a la separación, tratamiento, aprovechamiento y por último los impactos generados en la planta de tratamiento de residuos sólidos.

Con la información recopilada en la matriz, más la ayuda del mapa de la planta de tratamiento, las zonas aledañas a esta, sabiendo que el área potencial de la planta es de 2 ha, de las cuales una parte ya está siendo ocupada por la infraestructura existente donde se procesan y aprovechan los residuos generados por el Valle de Sibundoy, y la parte restante por pastos en los cuales se alberga ganado.

La actividad del reciclaje en la fuente es bastante pobre, pero si existe una buena separación, falta trabajar más con el sector doméstico en cuanto a desarrollar campañas sobre el reciclaje en la fuente, como una actividad económica y que contribuye a la conservación de los recursos naturales.

Con el diagnóstico ambiental al interior de la planta, se pudieron caracterizar los siguientes aspectos:

Existencia de grupos ecológicos, encargados del procesamiento, aprovechamiento y separación de los residuos inorgánicos inservibles de los reciclables y recuperables, a estos grupos les falta capacitación en seguridad industrial y salud ocupacional, y aunque existen programas y proyectos ambientales internos de la empresa que pueden articularse con los programas, proyectos y actividades del PGIRS municipal, para la capacitación de estas personas, son ellas quienes por facilidad a la hora de realizar las actividades; que no hacen efectivos estos programas y normas, sin embargo con el presente estudio si se encuentran dioxinas, furanos o dl-PCBs dentro de la bodega de inorgánicos los implementos de seguridad y salud deben ser obligatorios y de acuerdo a la normatividad existente.

Identificación puntos críticos al interior de la planta (incineración, material procedente del compostaje, canales de lixiviación. Entre otros), estado de jardines y afectación de la infraestructura con la acumulación de residuos, Es notorio el mal hábito de quemar los residuos en algunas ocasiones para aprovechar el material (cobre, aluminio, hierro,) o simplemente para deshacerse de ellos o para retirar las plagas, esta práctica aparte de contaminar el entorno con la generación de humo y cenizas está propiciando las condiciones favorables para la aparición de Dioxinas, Furanos y dl-PCBs, como se describe más adelante.

La caseta de compostaje presenta fallas en el tejado lo que produce un aumento de lixiviados, el piso no es el más adecuado para realizar este proceso, la proliferación de vectores de contaminación es evidente, de igual forma la emanación de olores, y la contaminación paisajística.

En la empresa ASVALLE S.A E.S.P, se está presentando un adecuado manejo de residuos sólidos desde el punto de vista organizativo y funcional pues existe una buena separación en la fuente, lo que permite que el aprovechamiento en la planta de tratamiento se optimicé al máximo, pues el aprovechamiento de los residuos orgánicos se refleja en la producción de abono orgánico de tipo compost el cual cuenta con estudio de laboratorio favorable; y la recuperación de los residuos inorgánicos (reciclaje), se evidencia en el posicionamiento de la empresa en el departamento como una de las que más recupera e incorpora materia prima a la industria y menos residuos inorgánicos inservibles lleva a disposición final (ver cuadro 3). Sin embargo en cuanto a la parte ambiental, la situación es algo distinta, ya que no se está realizando un correcto manejo de los residuos, pues prima la recuperación y transformación del material, que el trato amigable con el ambiente, es así como se evidencian quemas a cielo abierto, mal manejo de lixiviados, proliferación de vectores de contaminación y en algún tiempo pasado enterramiento de residuos inservibles sin ninguna medida, con todo lo anterior tenemos la siguiente matriz preliminar que relaciona los posibles impactos ambientales, su clase y el factor ambiental al cual está afectando así:

Cuadro 3. Impactos ambientales en la planta de tratamiento de la empresa Asvalle s. a E.s.p.

| FACTOR AMBIENTAL | CLASE | IMPACTO |
|------------------|----------|---|
| AGUA | Negativo | Contaminación de fuentes de agua superficiales. |
| | Negativo | Contaminación de aguas subterráneas por infiltración y percolación. |
| SUELO | Negativo | Contaminación del suelo por lixiviados. |
| | Negativo | Colmatación y taponamiento de los poros del suelo, disminuyendo la capacidad del drenaje del terreno. |
| | Negativo | Cambios en la composición química del suelo por la presencia de lixiviados. |
| | Negativo | Hundimientos en la superficie. |
| | Negativo | Reducción del área agropecuaria. |
| | Negativo | Modificación del paisaje natural. |
| | Negativo | Reducción de áreas disponibles para la biota. |
| | Negativo | Modificación de la estabilidad del terreno. |
| | Negativo | Alteración de la red de drenaje. |
| | Positivo | Replanteamiento de vegetación y fauna. |
| | Negativo | Alteración de bosques protectoras de fuentes hídricas. |
| | Negativo | Alteración de las condiciones bióticas actuales. |
| | AIRE | Negativo |
| Negativo | | Generación de olores por descomposición del material. |
| SOCIAL | Negativo | Proliferación de vectores. |
| | Positivo | Generación de empleo. |
| | Positivo | Variación de ingresos. |

Fuente. Este informe 2014.

4.3.1 Fuentes de agua cercana y nivel de afectación. Las fuentes de agua más cercanas son las quebradas Sotanjoy y Aguasilayazo y están a 150 y 250 mts, aproximadamente del área de la planta de tratamiento y del punto de vertimiento de los lixiviados. El nivel de afectación es de un alto porcentaje ya que esta no cuenta con un sistema de tratamiento para los lixiviados, y aunque estos son reincorporados al proceso de compostaje, la cantidad de que se está generando hace que las fuentes hídricas cercanas sean las afectadas, desvirtuando en que porcentaje y la afectación, dentro de la planta se cuenta con un sistema de drenaje por canal abierto, que para el momento de realizar la toma de muestras se encontraban estancados y sin mantenimiento, lo que ocasiona y favorece la percolación e infiltración de lixiviados hacia aguas subterráneas y por los mismos canales a las fuentes de agua cercanas.

4.3.2 Comunidades afectadas directa o indirectamente. Las comunidades afectadas directamente o indirectamente con la planta de tratamiento de residuos sólidos son: la vereda Las Palmas en donde se ubica la planta de tratamiento y la vereda Sagrado Corazón, por cercanía con la vereda y a la fuente hídrica. Las personas que residen cerca de este lugar son las más afectadas por la contaminación que genera, en razón de los malos olores, la propagación de moscas, zancudos, ratas, entre otras.

4.4 DESCRIPCIÓN DE ZONAS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS

Con ayuda del mapa, (ver mapa) se pretende hacer una descripción de las características, técnicas y operativas de cada uno de los componentes del servicio de aseo, considerándolos como un elemento esencial dentro del diagnóstico, describiendo el proceso llevado a cabo en cada área, los residuos que se manejan, aprovechan y descartan siendo estos llevados a disposición final en el relleno sanitario Anthanas en el departamento de Naríño, al igual que las posibles afectaciones al medio ambiente.

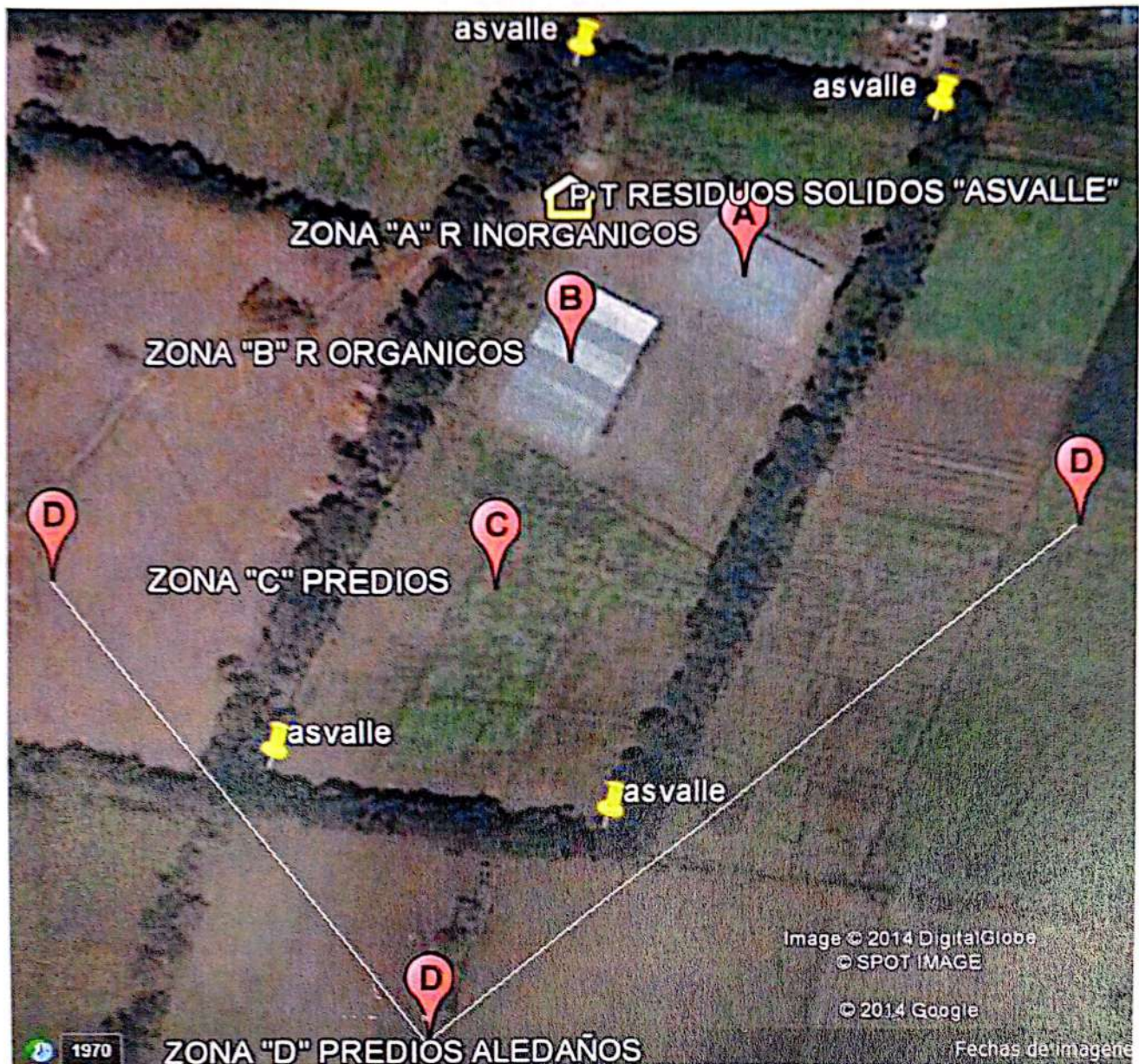
La planta de tratamiento de la empresa de aseo, acueducto y alcantarillado del valle de Sibundoy ASVALLE S.A. E.S.P. Realiza la recepción de los residuos sólidos en sus instalaciones, aprovechando estos residuos; Diariamente a la planta están entrando 8 Ton aproximadamente, a las cuales se les realiza el procedimiento correspondiente por el tipo de residuo, como se describe a continuación.

Cuadro 4. Promedio de generación de residuos, valle de Sibundoy durante 8 meses basados en facturas.

| MESES | ASVALLE | RECUPERADORES | | SIN DATOS | |
|--|--------------|------------------|---------------|----------------|----------------|
| | ORGÁNICOS | GRUPOS ASVALLE | | | INDEPENDIENTES |
| | | INORGÁNICOS | | | |
| | Por volqueta | No aprovechables | Aprovechables | | |
| SEPTIEMBRE | 129,5 | 116,9 | 11,6 | 62,99 | |
| OCTUBRE | 143,5 | 73,225 | 15,42 | | |
| NOVIEMBRE | 122,5 | 84,651 | 10,3 | | |
| DICIEMBRE | 112 | 91,93 | 12,6 | | |
| ENERO | 138,25 | 168,14 | 24,671 | | 37,79 |
| FEBRERO | 94,5 | 62,175 | 5,6 | | |
| MARZO | 105 | 97,615 | 12,81 | | |
| ABRIL | 66,5 | 106,34 | 16,1 | | |
| PROMEDIO | 113,97 | 100,12 | 13,64 | | |
| Total inorgánicos | | 113,76 | | | Ton/mes |
| Total residuos generados promedio 8 meses | | | 265,52 | Ton/mes | |

Fuente: Programa Para La Prestación Del Servicio De Aseo, Asvalle 2014.

Figura 4. Zonificación planta de tratamiento de residuos sólidos "Asvalle s. a



E.s.p.”

Fuente: Este informe 2014.

Dentro del mapa se presentan los puntos de cada una de las zonas y áreas de la planta de tratamiento y aprovechamiento, como también los 4 predios aledaños a esta a continuación se describe cada proceso de la planta, demarcado por zonas como muestra el mapa:

4.4.1 Zona A: “residuos inorgánicos”. Ubicada en las coordenadas $01^{\circ}11'30.19''$ N y $076^{\circ}56'11.12''$ W, se realiza el descargue de los residuos sólidos inorgánicos en los días establecidos por la empresa que son: miércoles residuos generados en el municipio de Sibundoy, jueves residuos generados en los municipios de Santiago, Colon y San Pedro, y sábado residuos generados en el municipio de San Francisco.

Después del descargue de los residuos sólidos en la planta de aprovechamiento del municipio de Sibundoy la recuperación del material está a cargo de tres grupos de personas dedicados a la separación y recuperación de los diferentes residuos sólidos generados en los distintos municipios, en donde cada grupo tiene un periodo de un mes en la planta. Estos grupos se encargan de la clasificación manual, embalaje y comercialización de los residuos aprovechados.

4.4.1.1 Grupos de recuperadores y recicladores. Asociación de trabajadores manos mágicas. Representante legal MARÍA IGNACIA GUERRERO de ENRÍQUEZ.

Asociación de recuperadores gama. Representante legal CLARA INÉS JAMIOY.
Asociación de recuperadores Visonat. Representante legal CLARA JACANAMEJOY.

Grupos encargado de realizar el aprovechamiento, separación, clasificación y tratamiento de residuos sólidos inorgánicos recolectados en los municipios del Valle de Sibundoy.

Figura 5. Descargue en área de manejo de residuos inorgánicos.



Fuente: Este informe 2014.

4.4.1.2 Bodega residuos inorgánicos. Para el almacenamiento de los residuos sólidos inorgánicos el tipo de bodega con la cuenta la empresa de aseo, acueducto y alcantarillado del valle de Sibundoy ASVALLE S.A. E.S.P. es de rotación rápida debido a las condiciones de uso, manejo y disposición de los

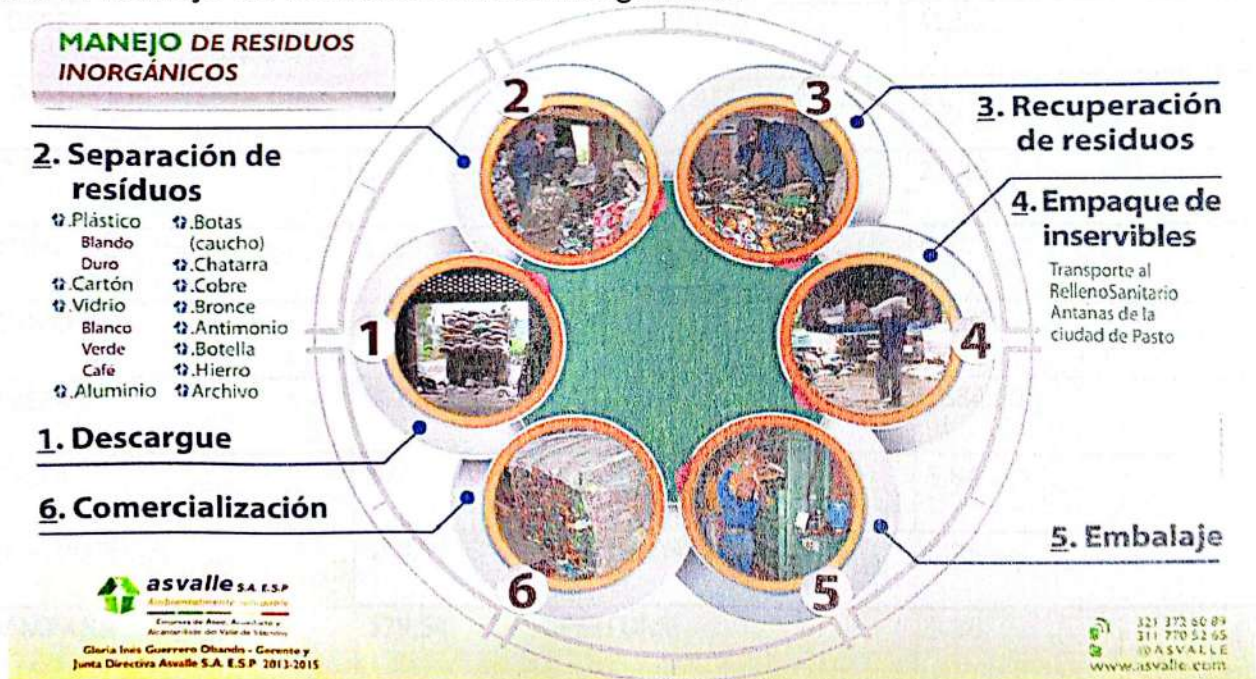
residuos contenidos en dicha bodega o centro de acopio, todo este proceso de forma manual y sin maquinaria especializada.

Figura 6. Residuos Sólidos Inorgánicos.



Fuente: Este informe 2014.

Figura 7. Manejo de residuos sólidos inorgánicos.



Fuente: Programa Para La Prestación Del Servicio De Aseo, Asvalle 2014.

4.4.1.3 Aprovechamiento del material. La siguiente información presenta la cantidad de residuos sólidos inorgánicos, por tipo de residuo separados, por los diferentes grupos recuperadores asociados con la empresa de aseo del valle de Sibundoy ASVALLE S.A E.S.P; esta información se establece en un promedio de

ocho meses basados en facturas solicitadas por la empresa de los residuos sólidos comercializados por los grupos.

Cuadro 5. Residuos sólidos inorgánicos aprovechados y comercializados.

| Kilogramos de residuos sólidos inorgánicos aprovechados y comercializados por grupos asociados a la empresa ASVALLE S.A E.S.P | | | |
|---|------------------|---------------------|------------------|
| DESCRIPCIÓN | PROMEDIO 8 MESES | DESCRIPCIÓN | PROMEDIO 8 MESES |
| CLAUSEN | 48,36 | ALUMINIO GRUESO | 35,06 |
| COBRE | 8,10 | BATERÍA | 1,57 |
| LAMINA | 0,39 | ALUMINIO PERFIL | 3,25 |
| CHATARRA | 1213,81 | CANASTAS VACÍAS | 0,50 |
| BOLSA | 660,25 | CANASTAS LLENAS | 1,50 |
| PET | 646,64 | BOTELLA PLANA | 140,60 |
| PET VERDE | 57,93 | PLÁSTICO SUAVE | 381 |
| PET CAFÉ | 57,75 | PLÁSTICO DURO | 41,50 |
| PET TRANSPARENTE | 29,63 | PLÁSTICO CAFÉ | 11,75 |
| PASTA | 603,00 | PLÁSTICO DE GASEOSA | 21,25 |
| CARTÓN | 1959,38 | SALCHICHA | 9,50 |
| ARCHIVO | 1550,625 | ACEITE | 52,50 |
| CERVEZA | 362,38 | VIDRIO | 1684,00 |
| BOTELLA | 307,31 | BRONCE | 5,84 |
| MEDIA BOTELLA | 180,50 | ANTIMONIO | 1,35 |
| CHAMPAÑA | 179,54 | PERFUME | 9,36 |
| REVISTA | 48,75 | PLANCHA | 3,13 |
| VASOS | 3,56 | ACERO | 1,43 |
| TAPA | 32,94 | CORCHO | 0,38 |

Continuación (Cuadro 5.)

| Kilogramos de residuos sólidos inorgánicos aprovechados y comercializados por grupos asociados a la empresa ASVALLE S.A E.S.P | | | |
|---|------------------|-----------------|------------------|
| DESCRIPCIÓN | PROMEDIO 8 MESES | DESCRIPCIÓN | PROMEDIO 8 MESES |
| SUERO | 7,13 | ALUMINIO GRUESO | 35,06 |
| BOTA | 85,44 | BATERÍA | 1,57 |
| ACEITE | 7,00 | ALUMINIO PERFIL | 3,25 |
| FUNDICIÓN | 5,19 | CANASTAS VACÍAS | 0,50 |
| OLLA | 11,63 | CANASTAS LLENAS | 1,50 |
| TOTAL | | | 10471,12 KG |

Fuente: Programa Para La Prestación Del Servicio De Aseo, Asvalle 2014.

4.4.1.4 Afectación al medio ambiente. Debido a las condiciones de infraestructura, manejo, y condiciones ambientales, y a las visitas a la bodega de recepción de los residuos y sus alrededores, es posible determinar que entre las afectaciones más directas tenemos la modificación del paisaje natural, debido a residuos que se evidencian a las afueras de la bodega, contaminación del aire por emisiones atmosféricas, acusa de las quemas realizadas en la parte exterior de la bodega de recepción, olores por contaminación y descomposición del material, cuando hay una mala segregación en la fuente y en la planta de aprovechamiento, proliferación de vectores, el dejar los residuos expuestos, hace que las plagas proliferen convirtiéndose en vectores o focos de contaminación (moscas, roedores).

4.4.2 Zona b: “residuos orgánicos”. Los residuos son descargados así: los días lunes residuos recolectados en los municipios de Santiago, Colon, San Pedro, San Francisco, plaza de mercado y algunos barrios del Municipio de Sibundoy, martes y viernes residuos recolectados en el municipio de Sibundoy.

Figura 8. Descargue en área de manejo de residuos orgánicos.



Fuente: Este informe 2014.

En el valle de Sibundoy a pesar de las diferentes campañas de concienciación ciudadana realizada en los municipios, aún no existe con gran eficacia la cultura de la separación en la fuente, por lo tanto los residuos orgánicos utilizados para el proceso de compost llegan mezclados con residuos inorgánicos en especial envolturas de galguerías, bombones, confites, papas, mallas plásticas de víveres frescos y gran cantidad de bolsa plástica que utilizan para la compra de alimentos lo que dificulta el aprovechamiento óptimo del residuo pero si ahondando en las afectaciones del medio circundante.

La selección manual está a cargo del señor HUGO BACCA DESCANSE encargado de la separación de los residuos inorgánicos que llegan junto con los residuos orgánicos, recolectados en los municipios del valle de Sibundoy quien a su vez es el técnico encargado de la producción de abono orgánico.

4.4.2.1 Bodega residuos orgánicos. Ubicada en las coordenadas $01^{\circ}11'2959''$ N y $076^{\circ}56'12.54''$ W, para los residuos orgánicos las condiciones y características, del lugar de recepción de residuos presenta las siguientes características: cuenta con un sistema abierto que permite una ventilación continua e iluminación natural, con infraestructura en mal estado, sin sistemas de recolección, de aguas lluvias y lixiviados, el piso es en tierra compactada permitiendo la infiltración y percolación de las aguas contaminadas por lixiviados.

Dentro de la bodega se realiza el compostaje en pila estática aireada naturalmente. Así es como el material a compostar se mezcla con el agente abultante (en caso de ser necesario) se realiza el montaje de la pila y el proceso empieza. A medida que transcurre el tiempo cambios ocurren en el sistema, la materia orgánica es degradada biológicamente por microorganismos aerobios, el agua contenida en el material se evapora al ambiente o se convierte en lixiviado la temperatura del mismo cambia, se generan procesos de descomposición y se obtiene el abono orgánico.

Figura 9. Proceso De La Producción De Abono Tipo Compost.



Fuente: Programa Para La Prestación Del Servicio De Aseo, Asvalle 2014.

4.4.2.2 Aprovechamiento del material. El aprovechamiento de material orgánico se hace en la planta de compostaje de ASVALLE S.A E.S.P, donde ingresan en total un promedio de 16,780 Toneladas diarias provenientes de todo el Valle de Sibundoy. Y se ve reflejado en la producción del abono orgánico, en la calidad, y aceptación en el mercado, en el siguiente cuadro se relaciona información respecto a la cantidad de residuos sólidos orgánicos, en un día de recolección en el Valle de Sibundoy, del material orgánico aprovechado y compostado el producto terminado se tiene identificado que es entre el 35 y 40% del total que se utiliza en el proceso, es decir aproximadamente 6,3 toneladas por día.

Cuadro 6. Residuos sólidos orgánicos tratados por la empresa Asvalle s.a E.s.p en un día de trabajo.

| Tipo de residuo | Municipios | | | | Promedio diario para el valle de Sibundoy |
|-----------------|------------|-------|----------|---------------|---|
| | SANTIAGO | COLON | SIBUNDOY | SAN FRANCISCO | |
| Orgánico | 1,450 | 1,150 | 11,455 | 2,725 | 16,780 |
| Inorgánico | 177 | 170 | 1,367 | 299 | 2,013 |
| Total | 1,627 | 1,320 | 12,822 | 3,024 | 18,793 |

Nota: Los R.S. inorgánicos en el presente cuadro corresponden a los inservibles que se encuentran mezclados con los R.S. orgánicos y que son previamente separados durante la recolección y en la planta de aprovechamiento

Fuente: Programa Para La Prestación Del Servicio De Aseo, Asvalle 2014.

4.4.2.3 Afectación al medio ambiente. Debido a las condiciones de infraestructura, manejo, y condiciones ambientales, y a las visitas a la caseta de

compostaje de los residuos y sus alrededores, es posible determinar las afectaciones más evidentes y tenemos la modificación del paisaje natural, debido a residuos que se evidencian en los alrededores de la caseta provenientes del ripio del zarandeo del abono, contaminación del aire por emisiones atmosféricas, acusa de los procesos de compostación, olores por contaminación y descomposición del material, proliferación de vectores, el dejar los residuos expuestos, hace que las plagas proliferen convirtiéndose en vectores o focos de contaminación (moscas, roedores, perros), contaminación de fuentes hídricas, por la ausencia de un buen sistema de drenajes, para aguas lluvias y lixiviados, esto propicia las condiciones para que se genere percolación e infiltración hacia las fuentes de agua superficiales y aguas subterráneas.

Uno de los principales problemas y el más evidente dentro de la planta de Tratamiento y aprovechamiento, aparece cuando la materia orgánica presente en los residuos sólidos urbanos (RSU) se degrada formando un líquido contaminante, de color negro y de olor muy penetrante, denominado lixiviado. Además, este líquido arrastra todo tipo de sustancias nocivas: Se han encontrado hasta 200 compuestos diferentes, algunos de ellos tóxicos¹⁵ y hasta cancerígenos (dioxinas, furanos y dl-PCB's). La humedad de los residuos y la lluvia son los dos factores principales que aceleran la generación de lixiviados, lo cual es la causa de las grandes cantidades en la planta de tratamiento, a continuación se describe la formación de los lixiviados y sus consecuencias al medio ambiente.

4.4.3 Formación de lixiviados.¹⁶ Por lo general, cuando el agua entra en contacto con los residuos sólidos depositados en un relleno sanitario o para la presente línea de investigación en una planta de tratamiento se produce una solución que se denomina lixiviado, rica en elementos contaminantes que al desplazarse verticalmente llegan al subsuelo. Se pueden formar de cuatro formas distintas:

- A partir de agua de lluvia que cae directamente sobre los residuos sólidos.
- Agua que se mueve horizontal al suelo y que llega directamente al sitio de ubicación de los residuos sólidos.
- Contacto directo de las aguas subterráneas con los residuos por la elevación del nivel freático.
- Aporte o derrame de líquidos en el sitio de almacenamiento.

Dentro de la planta de tratamiento el lixiviado se genera por la descomposición del material y las aguas lluvias. La composición de este, puede ser muy compleja, aunque existen características químicas más o menos comunes en este tipo de instalaciones:

¹⁵ Contaminación por lixiviados www.orgamb.org/lixiviados visitado el 22 de Octubre de 2014/ 10:45 am.

¹⁶ <http://enviaseo.gov.co/content/40/img/Contaminacion%20ambiental.pdf>. Contaminación ambiental Visitado el 29 de octubre de 2014/ 06:03 pm.

- Gran cantidad de hidrocarburos solubles
- Gran cantidad de nitrógeno orgánico y amoniacal.
- Presencia de metales pesados como: cadmio (Cd), níquel (Ni), zinc (Zn), plomo (Pb).
- Demanda química de oxígeno (DQO) que llega incluso a valores de mg de oxígeno por litro (O₂/l).
- Salinidad muy elevada.

4.4.3.1 Efectos dañinos de los lixiviados

- Efectos de compuestos orgánicos volátiles en lixiviados. Pueden causar daños principalmente en el sistema nervioso y el gastrointestinal, de índole cancerígena y teratogénicas.
- Efecto negativo de metales existentes en los lixiviados liberados por la descomposición de los residuos sólidos orgánicos. La exposición prolongada a metales pesados causa daños hepáticos, renales y cardiovasculares. Así como enfermedades neurológicas.
- Efecto de alcoholes lixiviados durante la descomposición de residuos sólidos orgánicos. Causa malformaciones congénitas, mutagénicas y cancerígenas.
- Efecto de compuestos orgánicos sintéticos en líquidos lixiviados. Daños en el sistema respiratorio, reproductor y nervioso.

Los lixiviados varían ampliamente en su composición química según la ubicación, condiciones climatológicas entre otras. Ello se debe a la cantidad de residuos, a las condiciones del sustrato y a las condiciones ambientales en las que se sitúa el vertedero. Incluso en el mismo vertedero, la calidad de los lixiviados cambia gradualmente a causa de que algunos componentes de los residuos se descomponen rápidamente mientras que otros lo hacen lentamente. La producción de olores junto con la de lixiviados producidos en esta descomposición, es uno de los problemas serios que produce la proximidad de los vertederos a las zonas urbanas.¹⁷

Con todo lo anterior para saber con certeza la problemática causada por los lixiviados dentro de la planta de tratamiento de residuos sólidos y más en la caseta dispuesta para el aprovechamiento de los residuos orgánicos, sus alrededores y las fuentes hídricas, es necesario análisis de aguas para así determinar en laboratorio las características de los mismos y poder tratar el vertimiento.

4.4.4 Zona c: "predios sin infraestructura". La planta de tratamiento, aprovechamiento y disposición temporal de los residuos sólidos domiciliarios del Valle de Sibundoy, cuenta con 2 ha de terreno de las cuales aproximadamente 1,5

¹⁷ PIÑERO P Jesús CISC. Vertederos controlados. Problemática de los lixiviados Pág 51ss.

ha están sin infraestructura, las cuales se disponen para la cría de ganado, sin embargo hace algunos años estos terrenos eran utilizados como un relleno sanitario, sin ningún tipo de medida, es decir que los residuos sólidos inservibles provenientes de la planta eran enterrados en este predio, en las coordenadas 01°11'27.82" N y 076°56'13.21" W, lo que afecta directamente a los recursos suelo y agua, generando impactos negativos al ambiente.

4.4.5 Zona d: “predios aledaños a la planta de tratamiento”. Las fincas que se encuentran alrededor de la planta de tratamiento, son de vocación agrícola y ganadera, presentan cultivos de maíz, frijol, arveja, tomate, lulo, granadilla y pastos para ganado; estos predios vecinos pueden estar afectados de forma indirecta por los impactos producidos en la planta de tratamiento, de esta forma con la línea de investigación se pretende evaluar los impactos generados por dioxinas, furanos y dl-PCBs en la planta, para en otro estudio hacerles el seguimiento respectivo y analizar el ciclo de vida de los posibles agentes contaminantes.

4.4.6 Zona e: “disposición final”. De acuerdo a los manejos y procesos realizados en la empresa en conjunto con los grupos de recuperadores la disposición final de residuos, se da para los residuos inservibles y/o no aprovechables, generados en los procesos de aprovechamiento antes descritos.

Teniendo en cuenta el peso y embalaje de este tipo de residuos son dispuestos al cargue y transporte hacia el relleno sanitario Anthanas de la ciudad de Pasto departamento de Nariño.

5. IDENTIFICACIÓN ZONA DE MUESTRO

Dentro de las actividades propias de la empresa de aseo acueducto y alcantarillado del Valle de Sibundoy ASVALLE S.A E.S.P, está la recolección, tratamiento, (aprovechamiento) y almacenamiento de los residuos generados en la región del alto Putumayo, la empresa cuenta con 2 ha para el manejo integral de los residuos, los cuales están dispuestos, por el tipo de residuo en zonas, debidamente estructuradas para el aprovechamiento de estos.

Mediante la disposición temporal de dichos residuos se pretende evaluar los mejores sitios para la toma de muestras priorizando los puntos donde es evidente la presencia del impacto, tomando como referencia lo anterior se establecen 9 posibles puntos para la toma de muestras priorizando puntos de descarga y manejo de los residuos orgánicos, zona de desagüe de lixiviados, donde existen evidencias de quemas, en cultivos aledaños.

Identificación que se la realizo por medio de recorridos por los terrenos y bodegas de la planta, para determinar la susceptibilidad al impacto, dentro de los predios de la planta de tratamiento, teniendo los siguientes puntos para ser evaluados.

Figura 10. Compostera.



Punto # 1. Ubicado en el interior de la compostera.

El primer punto de muestreo se encuentra localizado al interior del área de producción de abono orgánico, en donde el suelo es el recurso natural que se ve afectado o no por dicha actividad.

Con las siguientes coordenadas:

N 01° 11' 30,1"
W 076° 56' 12,7"

Figura 11. Lixiviados.



Punto # 2. Ubicado en la esquina interior derecha de la compostera.

En este punto se encuentran acumulados los lixiviados, generados en el proceso de compostaje, donde se estancan, se infiltran y percolan por el suelo, ocasionando una degradación del suelo, las muestras para este punto serian de suelo y agua; con las siguientes coordenadas:

N 01° 11' 28,8"
W 076° 56' 12,6"

Figura 12. Quema de llantas.



Punto # 3. Ubicado en la parte exterior del invernadero.

La quema de llantas era una de las prácticas, que se llevaban a cabo dentro de la empresa y aún quedan residuos de estas quemas sobre el suelo en varias partes del terreno de la planta de tratamiento. En las coordenadas:

N 01° 11' 27,7"
W 076° 56' 11,0"

Figura 13. Ripio abono orgánico



Punto # 4. Ubicado en la zona de extensión del invernadero.

Una vez se ha terminado con la elaboración del abono orgánico, los sobrantes de este proceso son depositados en el exterior de la compostera al fondo de la zona de secado del mismo abono. Con las coordenadas:

N 01° 11' 28,5"
W 076° 56' 10,9"

Figura 14. Residuos abandonados.



Punto # 5. Abandono de llantas en la intemperie en los linderos de la planta de tratamiento.

Al igual que la quema el abandono de residuos, y el enterrarlos en celdas improvisadas eran prácticas al inicio de la empresa, y en la actualidad es evidente el abandono y la sepultura de los residuos pues en algunas zonas están saliendo a flote. En las coordenadas:

N 01° 11' 28,9"

Figura 15. Quema de residuos



Punto # 6. Quema de residuos en la intemperie en la parte exterior trasera de la planta de tratamiento.

De la misma forma como se queman llantas también se quemaban los residuos inservibles en varios puntos de la planta de tratamiento, como se evidencia en el punto es evidente la quema y por tanto la presencia de contaminantes. En las coordenadas:

W 076° 56' 10,4''

N 01° 11' 29,5''
W 076° 56' 10,3''

Figura 16. Cultivos internos.



Punto # 7. Presencia de cultivos en la parte lateral izquierda al exterior de la bodega de residuos inorgánicos

Cultivos como maíz, frijol, aba entre otros son cultivados por los mismos trabajadores de la planta, sin control o verificación de presencia o no de agentes contaminantes. En las coordenadas:

N 01° 11' 30,4''
W 076° 56' 10,5''

Figura 17. Residuos inorgánicos.



Punto # 8. Residuos inorgánicos en bodega cubierta.

Los residuos inorgánicos son depositados en la bodega de aprovechamiento en donde son separados, clasificados, embalados y comercializados, dentro de este punto la presencia de agentes contaminantes es debido a la contaminación del material a separar. En las coordenadas.

N 01° 11' 30,3''
W 076° 56' 10,7''

Figura 18. Cultivos aledaños.



Punto # 9. Cultivos aledaños a la planta de aprovechamiento.

La planta de aprovechamiento de residuos sólidos de la empresa ASVALLE S.A E.S.P, está rodeada por predios particulares en donde hay cultivos permanentes, y adonde pueden haber migrado los contaminantes propios de la planta. En las coordenadas:

N 01° 11' 30,7'' y W 076° 56' 13,2''

Fuente: Este informe 2014.

6. DISEÑO METODOLOGICO

Para el desarrollo del presente trabajo se implementó el diseño metodológico que se describe en el trabajo de grado para optar al título de tecnóloga ambiental de la estudiante: ÁNGELA MARÍA MUÑOZ HINESTROZA,¹⁸ así:

6.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Se hizo un seguimiento de las investigaciones existentes hasta el momento sobre la contaminación y el impacto ambiental generado por dioxinas, furanos y dl-PCB's provenientes de residuos sólidos urbanos, mediante una revisión bibliográfica constante a lo largo del desarrollo del trabajo.

6.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación que se realizó es mixta; cualitativa y cuantitativa.

6.3 RECOLECCIÓN DE MUESTRAS

Las muestras de residuos sólidos en la planta de tratamiento fueron tomadas por el método de cuarteo, las muestras líquidas fueron tomadas directamente de la fuente hídrica y las muestras de suelo fueron tomadas mediante el método del cilindro biselado, con dos recolecciones en tiempo húmedo y tiempo seco.

6.4 IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE PCDD, PCDFS Y DL-PCB'S PRESENTES EN LOS RESIDUOS SÓLIDOS, EL AGUA Y EL SUELO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO

El análisis de dioxinas, furanos y dl-PCB's en los residuos sólidos de la planta de tratamiento se desarrolló mediante cromatografía de gases, acoplada a espectrometría de masas GC/SM, según los métodos: EPA1613: "Tetra- through Octa-Chlorinated Dioxins and Furans by Isotope¹⁹" y EPA1668A: "Chlorinated Biphenyl Congeners in Water, Soil, Sediment, and Tissue by HRGC/HRMS Dilution HRGC/HRMS²⁰" desarrollados por la USEPA y la norma europea EN1948: "Stationary source emissions. Determination of the mass concentration of

¹⁸ Muñoz, A. "Evaluación del impacto ambiental generado por la presencia de dioxinas y furanos en los residuos sólidos urbanos del relleno sanitario ubicado en la vereda medio Afán Km 8 del municipio de Mocoa", trabajo de grado para optar al título de tecnóloga ambiental, instituto tecnológico del putumayo, Mocoa 2014.

¹⁹ US EPA 1613. Tetra-through Octa-chlorinated Dioxins and Furans by Isotopic Dilution HRGC/HRMS, Washington, 1995.

²⁰ US EPA 1668A. Chlorinated Biphenyl Congeners in Water, Soil, Sediment, and Tissue by HRGC/HRMS Dilution HRGC/HRMS, Washington, 1999.

PCDDs/PCDFs. Identification and quantification²¹", los resultados fueron comparados con la norma colombiana, con el fin de evaluar la contaminación por dioxinas, furanos y dl-PCB's de los residuos sólidos generados en el Valle de Sibundoy.

El análisis de las muestras se llevó a cabo en el laboratorio de Dioxinas y Furanos perteneciente al grupo de Investigación Catálisis Ambiental de la Universidad de Antioquia.

La eficacia del método de recolección de muestras se evaluó mediante repeticiones de toma de muestras y análisis de las mismas, que se realizaron en diferentes periodos de muestreo. Los periodos de muestreo seleccionados para este trabajo, fueron tiempo seco y tiempo húmedo.

6.5 VALIDACIÓN DEL MÉTODO DE CUANTIFICACIÓN

El método de análisis utilizado en este estudio se validó previamente en el Laboratorio de Análisis de Contaminantes Persistentes de la Universidad de Antioquia. Durante los análisis se siguieron los métodos EPA1613; EN1948 y se registraron todos los resultados obtenidos para las pruebas: límite de detección del método (LDM), límite de cuantificación del método (LCM), linealidad, exactitud, porcentaje de recuperación y precisión.

6.6 EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL GENERADO POR LA PRESENCIA DE DIOXINAS Y FURANOS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO

Desarrollado el análisis de dioxinas, furanos y dl-PCB's presentes en muestras de residuos sólidos de la planta de tratamiento e identificada la concentración presente en cada muestra; a través del desarrollo de una matriz adaptada de la metodología propuesta por la Universidad Santo Tomas, se evaluaron los impactos ambientales generados por estos compuestos, con el fin de establecer relaciones causa-efecto en el relleno sanitario y los recursos naturales cercano a él.

6.7 LÍNEA Y SUBLÍNEA

De acuerdo al centro de investigación y extensión "CIECYT". El trabajo de grado denominado "Evaluación del impacto ambiental generado por la presencia de dioxinas, furanos y dl-PCB's en los residuos sólidos urbanos de la planta de tratamiento del Valle de Sibundoy" se encuentra registrado de la siguiente manera.

Línea de investigación: Prevención y control de contaminación ambiental.

Sublínea: Problemática sobre manejo inadecuado de residuos sólidos urbanos y hospitalarios.

²¹ EN-1948-1,2,3. European Standard, Stationary Source Emissions – Determination of the mass concentration of PCDDs/PCDFs. European Committee for Standardization, Brussels, 1996.

7.1 RECOLECCIÓN DE MUESTRAS

Uno de los aspectos críticos durante el desarrollo del trabajo fue la adecuación del sistema de recolección de muestras, debido a la variedad de zonas de muestreo que hubo para seleccionar como fuentes potenciales para la identificación de contaminantes persistentes en la planta de tratamiento del Valle de Sibundoy. Las muestras líquidas fueron recolectadas directamente de las fuentes hídricas cercanas a la zona de lixiviados, las muestras de residuos sólidos fueron recolectadas mediante el método de cuarteo, y las muestras de suelo fueron recolectadas mediante el método del cilindro biselado. Las diferentes zonas de muestreo se seleccionaron con el fin de evaluar los diferentes impactos ambientales ocasionados por el manejo de los residuos sólidos almacenados en la planta de tratamiento del Valle de Sibundoy.

7.1.1 Método de recolección directa. La medición directa se puede llevar a cabo mediante dos procedimientos, en el primero la muestra es recolectada en la fuente hídrica (ver figura 19) y luego analizada en el laboratorio; y en el segundo, el análisis se lleva a cabo directamente en la fuente a través de equipos de medición en tiempo real.

En este trabajo se utilizó el método directo descrito en el primer procedimiento, donde las muestras de agua provenientes de las quebradas Sotanjoy y Alguasilayaco, se recolectaron aguas arriba, aguas en punto medio y aguas debajo de la zona cercana a la zona de lixiviados producidos por la planta de tratamiento de residuos sólidos del Valle de Sibundoy. Las muestras recolectadas fueron enviadas al LACOPs con el fin de determinar la presencia de dioxinas, furanos y dl-PCB's en ellas.

Figura 19. Toma muestras agua.



Fuente: Este informe 2014.

7.1.2 Método del cuarteo. Método popular, consiste en mezclar el material para posteriormente apilarlo en la forma de un cono. Este cono se aplasta y se divide con una pala o espátula en forma de cruz. Se retiran dos cuartos opuestos y los otros dos, que constituyen la muestra, se vuelven a mezclar repitiéndose el proceso cuantas veces se desee hasta obtener el tamaño apropiado de la muestra. Para la toma de muestra de este trabajo se aplicó el método de cuarteo hasta obtener una muestra representativa aproximadamente de 100 g de residuos sólidos, en la toma de muestra se observó residuos de incineración (cenizas) por lo que también fueron tomados como muestra para analizar la presencia de PCDD/PCDFs y dl-PCB's.

Figura 20. Toma de muestra de residuos sólidos.



Figura 21. Toma de muestra cenizas.



Fuente: Este informe 2014.

7.1.3 Método del cilindro biselado. Este método es el más conocido y aceptado, se aplica en la mayoría de suelos agrícolas que presentan poca o ninguna pedregosidad interna y/o que no son sueltos. Además, en suelos que no presentan abundante cantidad de raíces gruesas. Las condiciones mencionadas anteriormente impiden, o por lo menos dificultan, la introducción del cilindro y la

extracción de la muestra completa del suelo. En el procedimiento de recolección de muestras se llevan a cabo las siguientes operaciones:

Se introduce el cilindro en la porción del suelo que se desea muestrear. Si la muestra se requiere de la parte superficial del suelo, el cilindro se introduce verticalmente (ver figura 21); si se desea hacer un muestreo de todo el suelo debe prepararse un perfil, determinar los horizontes que posee y en la parte central o en varios puntos de cada uno de ellos, dependiendo de la precisión buscada, se introduce el cilindro horizontalmente. En cualquiera de los casos debe tenerse la precaución de introducir completamente el cilindro y hacerlo de forma que se disturbe lo menos posible la muestra.

Luego, se retira el cilindro lleno con suelo, se enrasan sus bordes con una navaja, se coloca en una bolsa plástica y se sella, para llevarlo al laboratorio. Si se requiere tomar un elevado número de muestras no es necesario utilizar un cilindro diferente para cada una de ellas; la muestra de suelo puede retirarse del cilindro en el campo y empacarse sola en la bolsa para reutilizar el cilindro con otras muestras.

Otro aspecto importante que se tuvo en cuenta fue el tiempo de aislamiento de las muestras obtenidas en cada periodo, ya que se encontró que las muestras se degradan rápidamente y en el posterior análisis no presentaba altos niveles de confiabilidad. Para solucionar esto las muestras obtenidas fueron enviadas al laboratorio lo más rápido posible.

Figura 22. Toma de muestra de suelo con tubo biselado.



Fuente: Este informe 2014.

Las muestras obtenidas en cada periodo fueron identificadas como lo muestra el siguiente cuadro:

Cuadro 7. Rótulos para marcar las muestras.

| Periodo de recolección de muestras | Cenizas | Abono orgánico. | Residuos inorgánicos. | Suelo. | Agua. |
|------------------------------------|------------------|-------------------|-----------------------|--------------------|------------------|
| Tiempo húmedo. (1) | C ₁₋₁ | AO ₁₋₁ | RI ₁₋₁ | SC ₁₋₁ | A ₁₋₁ |
| | | | | SAO ₁₋₁ | A ₁₋₂ |
| | | | | SRI ₁₋₁ | A ₁₋₃ |
| Tiempo seco. (2) | C ₂₋₁ | AO ₂₋₁ | RI ₂₋₁ | SC ₂₋₁ | A ₂₋₁ |
| | | | | SAO ₂₋₁ | A ₂₋₂ |
| | | | | SRI ₂₋₁ | A ₂₋₃ |

Fuente: Este informe 2014.

7.2 IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE PCDD/PCDFS PRESENTES EN LOS RESIDUOS SÓLIDOS, EL AGUA Y EL SUELO DEL RELLENO SANITARIO

Las muestras recolectadas fueron analizadas en el Laboratorio de Análisis de Contaminantes Persistentes-LACOPs, perteneciente al grupo de investigación Catálisis Ambiental de la Universidad de Antioquia, bajo el método de análisis de dioxinas, furanos y compuestos orgánicos volátiles -VOCs, propuesto por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos-US.EPA.

7.2.1 Análisis de muestras. El análisis de PCDD/PCDFs y PCB's, es un proceso largo y complejo, pero necesario para establecer el estado de contaminación y el impacto ambiental que estos generan sobre el ambiente y la sociedad. El método de análisis de estos compuestos debe proporcionar la concentración tóxica equivalente más precisa posible, eliminando interferencias en el proceso de limpieza de la muestra e identificando exclusivamente los compuestos de interés en el análisis instrumental. Por tanto, el desarrollo de una metodología confiable para la identificación y cuantificación de PCDD/PCDFs y PCB's en diferentes matrices, como alimentos, suelo, agua, cenizas de incineración, entre otras, se ha convertido en un estudio de interés de los últimos años.

La cromatografía de gases de alta resolución acoplada a la espectrometría de masas de alta resolución (HRGC/HRMS) es la metodología tradicional de análisis, debido a la alta sensibilidad de la técnica y las concentraciones extremadamente bajas de estos compuestos en las muestras reales. Sin embargo, estos instrumentos tienen un alto costo de compra y mantenimiento, por lo que recientemente el reemplazo del HRMS por un espectrómetro de masas con trampa de iones (QIT-MS/MS) ha sido una opción atractiva en muchos laboratorios debido a la versatilidad del equipo y menores requerimientos de mantenimiento. Sin embargo, una desventaja de este equipo es su relativa baja sensibilidad, ya que puede ser de 10 a 20 veces menor que en el HRGC. No obstante, en países

como Colombia donde los niveles de PCDD/PCDFs y PCB's en muestras ambientales aún son relativamente altos este equipo es una opción muy atractiva.

La espectrometría de masas con trampa de iones (QIT-MS/MS) es una técnica altamente específica debido a que el proceso de detección involucra cuatro pasos: ionización por impacto electrónico (EI), separación del ión padre, disociación inducida de colisión (CID) y análisis de las masas de los iones hijos. La aplicabilidad de este método al análisis de muestras de POCs en muestras ambientales en el laboratorio de análisis de contaminantes persistentes (LACOPS) de la Universidad de Antioquia se ha reportado con anterioridad. En este trabajo se presentan los resultados obtenidos en la implementación de la metodología de identificación y cuantificación simultánea de PCDD/PCDFs y PCB's generados en los residuos sólidos, el agua y el suelo de la planta de tratamiento del Valle de Sibundoy.

El diseño de la metodología para el análisis PCDD/PCDFs y PCB's estuvo basado en los métodos: EPA1613: "Tetra- through Octa-Chlorinated Dioxins and Furans by Isotope" y EPA1668A. "Chlorinated Biphenyl Congeners in Water, Soil, Sediment, and Tissue by HRGC/HRMS Dilution HRGC/HRMS" desarrollados por la US-EPA y la norma Europea EN1948: "Stationary and source emissions. Determination of the mass concentration of PCDDs/PCDFs, identification and quantification". El método se basa en:

- Extracción de la muestra de la forma más selectiva y cuantitativa posible.
- Aplicación de esquemas de limpieza (clean-up) rigurosos y selectivos para la purificación de los extractos y separación por métodos físico-químicos.
- Separación de isómeros mediante cromatografía gaseosa de alta resolución (HRGC) o baja (LRMS) resolución.
- Detección sensible y selectiva a través de la espectrometría de masas en alguna de sus modalidades, normalmente mediante registro selectivo de iones (SIR) en alta (HRMS) o baja (LRMS) resolución.
- Cuantificación exacta por el método de dilución isotópica con base en la utilización de factores de respuesta obtenidos de los correspondientes congéneres marcados con ^{13}C .

La realización de estas etapas se requiere para garantizar el éxito en el análisis de estos compuestos, aunque al mismo tiempo, se convierte en un proceso largo y complejo. De todas formas, aunque se usen como referencia los métodos oficiales de análisis difundidos por los organismos internacionales (USEPA y EN), no puede decirse que exista todavía una metodología completa, estandarizada y comúnmente aceptada. En realidad, la fase de análisis por HRGC/MS y la cuantificación por el método de dilución isotópica están bien establecidos, pero la fase de limpieza y tratamiento de la muestra presenta muchas variaciones y cada laboratorio suele aplicar su propio protocolo en función de su experiencia, de los

medios técnicos de que dispone y de las particularidades de cada tipo de muestra en estudio, a continuación se explica brevemente cada paso fundamental en el análisis.

7.2.2 Toma de la muestra. Las muestras de residuos sólidos en la planta de tratamiento fueron tomadas por el método de cuarteo, las muestras líquidas fueron tomadas directamente de la fuente hídrica y las muestras de suelo fueron tomadas mediante el método del cilindro biselado. Debido a la naturaleza altamente peligrosa de los residuos recolectados y a la poca infraestructura en la planta de tratamiento, la toma de muestra se limitó a una recolección superficial del material.

7.2.3 Adición de los estándares de extracción. En esta etapa se adiciona a la muestra una cantidad conocida de PCDD/PCDFs y PCB's marcados isotópicamente con ^{13}C . La única diferencia entre los PCDD/PCDFs y PCB's propios de la muestra o nativos y los marcados, radica en la masa de sus moléculas, la cual permite diferenciarlos fácilmente por espectrometría de masas. La adición del estándar se debe llevar a cabo antes de iniciar cualquier tratamiento a la muestra y se debe incorporar íntimamente en la matriz mediante homogenización y reposo para asegurar que los PCDD/PCDFs y PCB's nativos y marcados estén sometidos a los mismos efectos de matriz. El objetivo de esta adición es doble: (i) cuantificar posteriormente de forma exacta los PCDD/PCDFs y PCB's nativos contenidos en la muestra por el método de dilución isotópica y (ii) controlar las pérdidas producidas durante las múltiples etapas del proceso analítico.

En este trabajo se añadió el estándar de extracción marcado isotópicamente bajo el protocolo EPA1613- LCS que contiene los PCDD/PCDFs y PCB's marcados con ^{13}C . El cuadro 8, muestra la composición de los estándares. Luego de la adición con ayuda de acetona, las muestras se dejaron en reposo durante 2 horas.

Cuadro 8. Composición de los estándares marcados isotópicamente con ^{13}C adicionados a las muestras para la cuantificación por el método de dilución isotópica.

| Dioxinas y furanos (PCDD/Fs) |
|------------------------------------|
| Estándar de extracción EPA1613-LCS |
| ^{13}C -2378-TCDD |
| ^{13}C -12378-PCDD |
| ^{13}C -123478-HxCDD |
| ^{13}C -123678-HxCDD |

¹³C-1234678-HpCDD

Continuación (Cuadro 8,)

| |
|------------------------------------|
| Dioxinas y furanos (PCDD/Fs) |
| Estándar de extracción EPA1613-LCS |
| ¹³ C-OCDD |
| ¹³ C-2378-TCDF |
| ¹³ C-12378-PCDF |
| ¹³ C-23478-PCDF |
| ¹³ C-123478-HxCDF |
| ¹³ C-123678-HxCDF |
| ¹³ C-234678-HxCDF |
| ¹³ C-123789-HxCDF |
| ¹³ C-1234678-HpCDF |
| ¹³ C-1234789-HpCDF |
| Estándar de inyección EPA1613-ISS |
| ¹³ C-1234-TCDD |
| ¹³ C-123789-HxCDD |

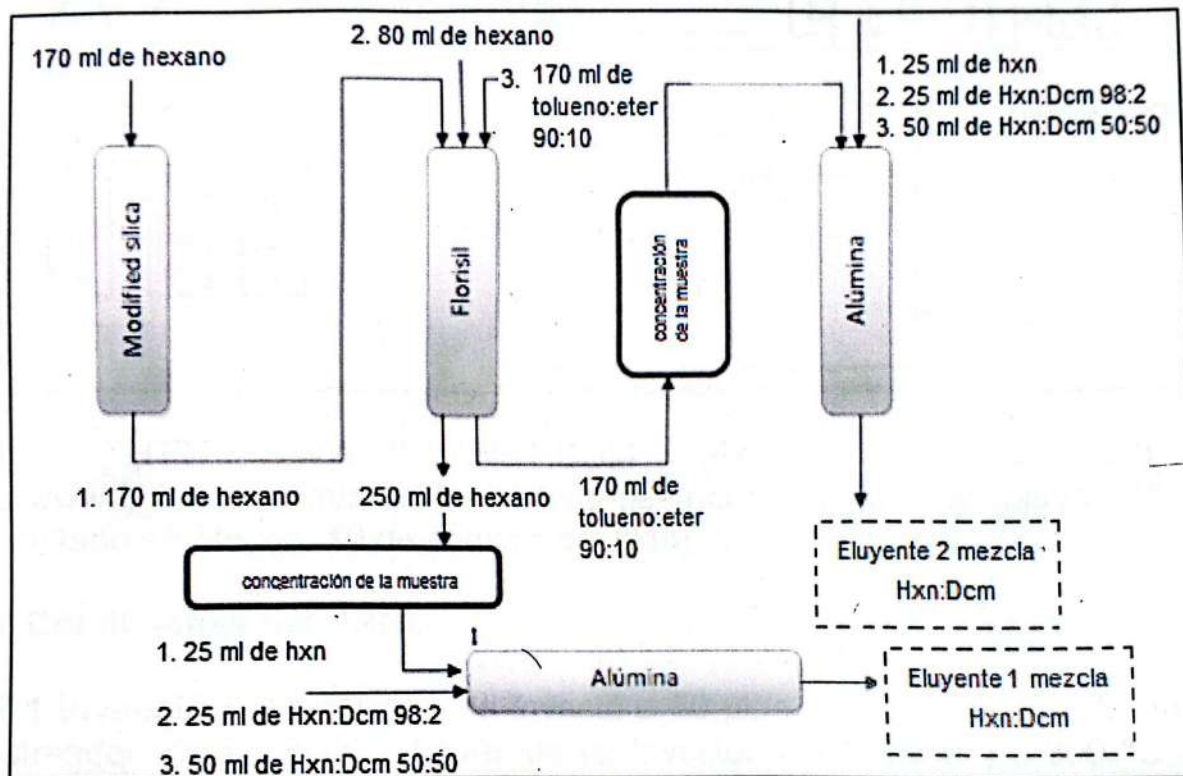
Fuente: Wellington Laboratories, Canadá.

7.2.4 Pre-tratamiento. Las muestras tomadas requieren una digestión ácida para destruir la estructura de la matriz y liberar los contaminantes retenidos en su interior, quedando accesibles a la posterior acción del solvente durante la extracción. Esta digestión se realizó con 30 ml de HCl al 3% p/p y agitación durante 2 horas. Posteriormente, el material se filtró, se lavó con agua desionizada y se secó en estufa a 100 °C por 12 horas.

7.2.5 Limpieza. Esta etapa se realiza por cromatografía de adsorción con columnas empacadas. La purificación está destinada a separar, sin perder ni desnaturalizar los compuestos de interés, y eliminar las numerosas sustancias interferentes que se encuentran en concentraciones mucho más elevadas que los analitos de interés. En este trabajo se utilizaron columnas empacadas con sílica

modificada, florisil y alúmina. La sílica se modificó con agentes oxidantes como ácido sulfúrico e hidróxido de sodio y con nitrato de plata. La modificación con el ácido se realiza para adsorber compuestos básicos y eliminar sustancias a través de reacciones de eliminación. La adición de NaOH permite la retención de compuestos con pKa inferiores a 1043 que pueden dar falsos positivos en el análisis por GC/MS. En cambio, el AgNO₃ permite eliminar compuestos que contienen azufre.

Grafica 1. Columnas empacadas.

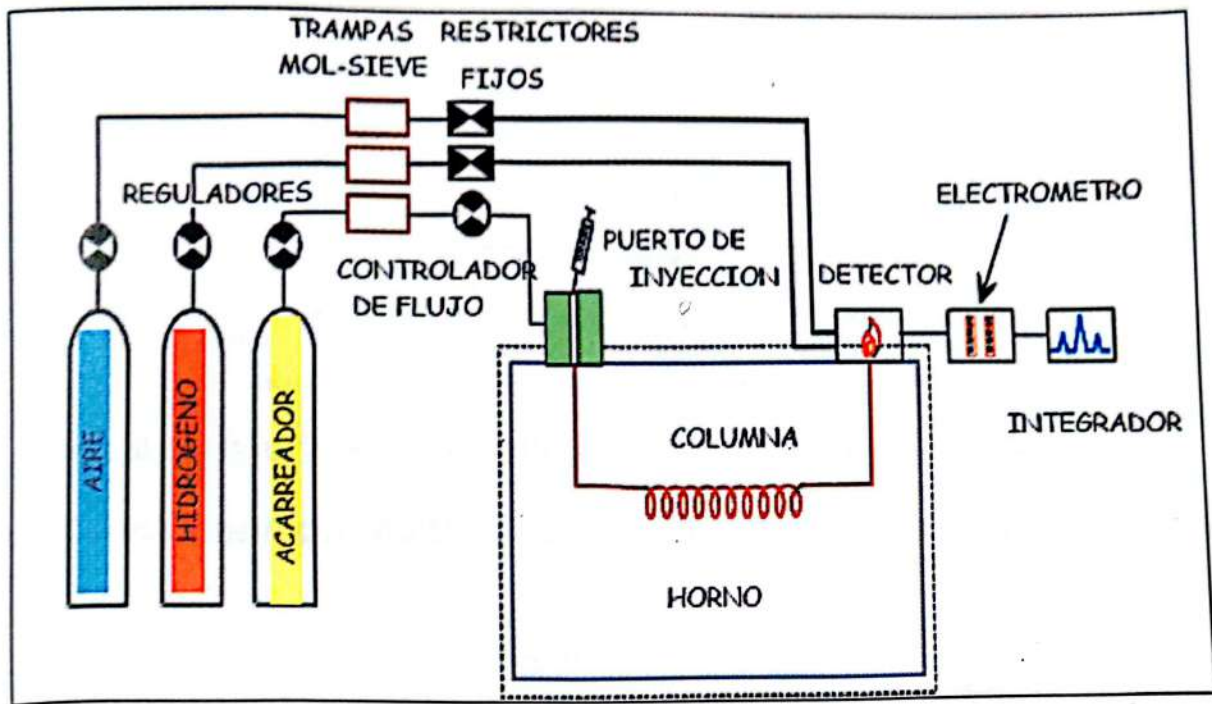


Fuente: Laboratorio de análisis contaminantes persistentes LACOPs.

7.2.6 Separación e identificación. Los objetivos de esta etapa son: (i) separar los diferentes isómeros; (ii) detectar las cantidades de los compuestos a cuantificar; y (iii) resolver las interferencias no eliminadas totalmente en la etapa de purificación.

La cromatografía de gases de alta resolución (HRGC) acoplada a la espectrometría de masas de alta o baja resolución (HRMS o LRMS) resuelve perfectamente los tres requerimientos aludidos. Las muestras son analizadas en un cromatógrafo de gases acoplado a un espectrómetro de masas (GC/MS) Agilent7890A/5973 equipado con un detector FID y una columna DB-5 de 30 m y 0,32 mm de diámetro interno (Agilent, USA). En la figura puede observarse el esquema del sistema usado, y en el cuadro se encuentran las condiciones usadas en el cromatógrafo para lograr la separación de los componentes.

Grafica 2. Cromatógrafo de gases.



Fuente: [HTTP://WWW.QUIMINET.COM](http://WWW.QUIMINET.COM) [En línea]: disponible en: <http://www.quiminet.com/articulos/historia-de-la-cromatografia-de-gases-0851.htm>. [Consultado en Mocoa, 10 de octubre de 2014].

7.2.7 Condiciones del HRGC

7.2.7.1 Inyección. La muestra se inyectó a 50 $\mu\text{L/s}$ mediante el uso de un automuestreador Varían 8400 a través de un Inyector 1079 (Varían) a 300 °C con el siguiente programa de partición:

Cuadro 9. Condiciones del Inyector.

| Time | Split state | Split ratio |
|---------|-------------|-------------|
| Initial | On | 25 |
| 0.01 | Off | Off |
| 1.50 | On | 50 |

Fuente: Laboratorio de análisis contaminantes persistentes LACOPs.

7.2.7.2 Programa de temperatura. La rampa de calentamiento del horno del cromatógrafo fue:

Cuadro 10. Condiciones de cromatógrafo.

| Temp. (°C) | Velocidad (°C/min) | Duración (min) | Total (min) |
|------------|--------------------|----------------|-------------|
| 130 | - | 1.50 | 1.50 |
| 200 | 20.0 | 1.30 | 6.30 |
| 230 | 1.0 | 7.00 | 43.30 |
| 290 | 10.0 | 20.70 | 70.00 |

Fuente: Laboratorio de análisis contaminantes persistentes LACOPs.

7.2.8 Condiciones del MS/MS. Las condiciones del espectrómetro de masas fueron:

- ✓ Modo de ionización: Impacto electrónico
- ✓ Preparación del ión: Monitoreo de reacciones múltiples (MRM)
- ✓ Temperatura de la trampa: 220°C.
- ✓ Temperatura del "manifold": 80°C.
- ✓ Temperatura de la línea de transferencia: 280°C.
- ✓ Tipo de onda: Resonante.
- ✓ Voltaje del multiplicador: 200 volts.
- ✓ Modulación axial: 4.0 volts.
- ✓ Tiempo de scan: 0.33 seg/scan.
- ✓ Corriente de emisión: 95 μ A.
- ✓ Target TIC: 2000 counts.
- ✓ Tiempo máximo de ionización: 25000 μ seg. Tiempo de Prescan: 1500 μ seg

El MS/MS se trabajó en el modo monitoreo de reacciones múltiples (MRM). En éste modo el equipo busca el ión padre del analito, particiona la molécula y cuantifica la respuesta creada por los iones hijos. El cuadro 11 muestra los iones padre e hijos de cada congénere de PCDD/Fs buscado.

Cuadro 11. Analitos de interés en la determinación de dioxinas y furanos.

| Compuestos nativos | | | Compuestos marcados | | |
|--------------------|-----------|------------|---------------------|-----------|------------|
| Dioxinas | Ion padre | Iones hijo | Dioxinas | Ion padre | Iones hijo |
| 2378-TCDD | 321.9 | 257+259 | 13C-2378-TCDD | 333.9 | 268+270 |
| 12378-PCDD | 355.8 | 291+293 | 13C-12378-PCDD | 367.9 | 302+304 |
| 123478-HxCDD | 390.8 | 327+329 | 13C-123478-HxCDD | 402.8 | 338+340 |
| 123678-HxCDD | 390.8 | 327+329 | 13C-123678-HxCDD | 402.8 | 338+340 |
| 123789-HxCDD | 390.8 | 327+329 | 13C-123789-HxCDD | 402.8 | 338+340 |
| 1234678-HpCDD | 424.8 | 361+363 | 13C-1234678-HpCDD | 436.8 | 372+374 |
| OCDD | 458.7 | 395+397 | 13C-OCDD | 470.7 | 406+408 |
| Furanos | Ion padre | Iones hijo | Furanos | Ion padre | Iones hijo |
| 2378-TCDF | 305.8 | 241+243 | 13C-2378-TCDF | 317.9 | 252+254 |
| 12378-PCDF | 338.8 | 275+277 | 13C-12378-PCDF | 350.8 | 286+288 |
| 23478-PCDF | 338.8 | 275+277 | 13C-23478-PCDF | 350.8 | 286+288 |
| 123478-HxCDF | 374.8 | 311+313 | 13C-123478-HxCDF | 386.8 | 322+324 |
| 123678-HxCDF | 374.8 | 311+313 | 13C-123678-HxCDF | 386.8 | 322+324 |
| 234678-HxCDF | 374.8 | 311+313 | 13C-234678-HxCDF | 386.8 | 322+324 |
| 123789-HxCDF | 374.8 | 311+313 | 13C-123789-HxCDF | 386.8 | 322+324 |
| 1234678-HpCDF | 408.8 | 345+347 | 13C-1234678-HpCDF | 420.8 | 356+358 |
| 1234789-HpCDF | 408.8 | 345+348 | 13C-1234789-HpCDF | 420.8 | 356+358 |
| OCDF | 442.7 | 379+381 | | | |

Fuente: Laboratorio de análisis contaminantes persistentes LACOPs.

7.2.9 Cuantificación por dilución isotópica. La cuantificación exacta de los PCDD/PCDFs y PCB's, se efectuó mediante dilución isotópica, usando isómeros de PCDD/PCDFs y PCB's, marcados con ^{13}C como patrones internos, análogos a los que se quieren determinar. Este método se fundamenta en la linealidad de la respuesta del espectrómetro de masas frente a la señal que dan los PCDD/PCDFs

y PCB's, para un rango de concentraciones determinado, y en la utilización de los factores de respuesta relativa (RRFs). A continuación se ilustra el cálculo de cada parámetro usado para la cuantificación.

7.2.9.1 RRF. El RRF es un parámetro que relaciona la señal que da un determinado isómero nativo con la respuesta del mismo isómero marcado isotópicamente. En concreto, se define mediante la siguiente fórmula:

$$RRF = \frac{A_n(C^{12}) \cdot Q_m(C^{13})}{A_m(C^{13}) \cdot Q_n(C^{12})} \quad \text{ecuación 1.}$$

Dónde:

RRF: Factor de respuesta relativo del isómero (n)

$A_n(C^{12})$: Suma de las áreas de los iones del isómero nativo

$A_m(C^{13})$: Suma de las áreas de los iones del isómero marcado

$Q_m(C^{13})$: Cantidad de isómero marcado introducido en el GC-MS

$Q_n(C^{12})$: Cantidad de isómero nativo introducido en el sistema GC-MS

El cálculo de los RRFs se realizó mediante la inyección de cinco soluciones de calibración con composiciones conocidas de los isómeros nativos y marcados 2,3,7,8-sustituidos (EPA1613 - CVS), de PCDD/PCDFs. Cada una de estas soluciones se analizó por HRGC/MS, se determinaron las áreas para cada isómero nativo y marcado, y se calcularon los factores de respuesta correspondientes aplicando la fórmula anterior.

7.2.9.2 Concentración. Una vez determinados los RRFs para cada isómero, se procedió a la cuantificación de las muestras; en este caso, además de los RRFs, se conocían también las cantidades de isómero marcadas con ^{13}C que se añadieron en el estándar de extracción y se determinaron las cantidades de isómero nativo. Los valores de $A_n(C^{12})$ y $A_m(C^{13})$ se obtuvieron del análisis por HRGC/MS. Para calcular las cantidades de isómeros nativos presentes en la muestra se aplicó la misma fórmula anterior en la forma:

$$Q_n(C^{12}) = \frac{A_n(C^{12}) \cdot Q_m(C^{13})}{A_m(C^{13}) \cdot RRF \cdot Q} \quad \text{ecuación 2.}$$

A la que se ha añadido el parámetro Q (peso de muestra) para tener en consideración la cantidad de muestra tomada para el análisis.

7.2.9.3 Concentración tóxica equivalente (TEQ). A fin de evaluar la toxicidad de mezclas de dioxinas y expresarlas en una forma simple en función de cantidades de 2,3,7,8-TCDD, la concentración de cada compuesto de PCDD/PCDFs y PCB's

se multiplicó por su respectivo factor de equivalencia tóxica (TEF, ver cuadro 1), de acuerdo con la fórmula:

$$TEQ_i = TEF_i [C_i]$$

Donde el valor de TEQ_i representa la cantidad de 2,3,7,8-TCDD que produciría los mismos efectos tóxicos que el isómero i presente en la mezcla. La sumatoria de todos los TEQ individuales da la cantidad de 2,3,7,8-TCDD que toxicológicamente es equivalente a la mezcla que se analiza.

7.2.9.4 Porcentajes de recuperación de los patrones marcados con ^{13}C . Para calcular el porcentaje de recuperación de los nueve estándares internos adicionados al extracto se usó la siguiente fórmula:

$$\% \text{Recuperación} = \frac{A_m(C^{13}) \cdot Q_{rs}(C^{13})}{A_{rs}(C^{13}) \cdot Q_m(C^{13}) \cdot RF_n} * 100 \quad \text{Ecuación 3}$$

Dónde:

$A_m(C^{13})$: Suma de las áreas de los iones del isómero marcado del estándar EPA1613-LCS.

$A_{rs}(C^{13})$: Suma de las áreas de los iones del isómero marcado de la solución de inyección.

$Q_{rs}(C^{13})$: Cantidad de isómero marcado en la solución de inyección, pg.

$Q_m(C^{13})$: Cantidad de isómero marcado en la solución de fortificación, pg.

RF_n : Factor de respuesta relativo para los estándares marcados con respecto al correspondiente estándar de recuperación.

Los métodos EPA1613 y EPA1618A establecen el rango límite de los porcentajes de recuperación aceptados para el análisis de PCDD/PCDFs y PCB's (ver cuadro 12). El límite inferior del rango de aceptación de estos porcentajes está relacionado con la máxima pérdida permitida de analito luego de la manipulación de la muestra en las sucesivas etapas de análisis. Los límites superiores al 100% se deben a los cambios en la precisión del equipo, cuya respuesta para un mismo compuesto puede variar entre inyecciones, arrojando valores de concentración superiores a los detectados en el momento de la construcción de la curva de calibración. Para disminuir estos efectos, la curva de calibración se construye para cada lote de inyección de muestras. Los resultados se consideran inadecuados si la recuperación de cualquier compuesto está por fuera de este rango. Para tal caso, se debe analizar la causa del problema y repetir el análisis si es preciso.

El método descrito anteriormente permitió identificar y cuantificar los PCDD/PCDFs presentes en cada muestra tomada de la planta de tratamiento de residuos sólidos.

Cuadro 12. Rango de porcentaje de recuperación de los compuestos marcados.

| Compuesto | Rango (%) |
|-------------------|-----------|
| 13C-2378-TCDD | 25-164 |
| 13C-12378-PCDD | 25-181 |
| 13C-123478-HxCDD | 32-141 |
| 13C-123678-HxCDD | 28-130 |
| 13C-1234678-HpCDD | 23-140 |
| 13C-OCDD | 17-157 |
| 13C-2378-TCDF | 24-169 |
| 13C-12378-PCDF | 24-185 |
| 13C-23478-PCDF | 21-178 |
| 13C-123478-HxCDF | 26-152 |
| 13C-123678-HxCDF | 26-123 |
| 13C-234678-HxCDF | 29-147 |
| 13C-123789-HxCDF | 28-136 |
| 13C-1234678-HpCDF | 28-143 |
| 13C-1234789-HpCDF | 26-138 |

Fuente: laboratorio de análisis contaminantes persistentes LACOPs.

Los cuadros 13, 14, 15, muestran los resultados de las concentraciones obtenidos en el análisis de PCDD/PCDFs y PCB's, realizados en el Laboratorio de análisis de contaminantes persistentes LACOPs. En muestras de residuos sólidos; aguas y suelos, de la planta de tratamiento de residuos sólidos del Valle de Sibundoy, para el primer y segundo periodo de muestreo respectivamente, en donde se puede observar que la concentración de PCDD/PCDFs y PCB's no varía significativamente entre periodo y periodo. Los resultados obtenidos después de todo el proceso de análisis de PCDD/PCDFs y PCB's indican que en todas las muestras el porcentaje de recuperación está dentro del rango descrito en el cuadro 13. La variación en la concentración en cada muestra de PCDD/PCDFs y PCB's para cada periodo se puede atribuir a la zona de muestreo que se seleccionó y a la misma muestra. Corroborando de esta manera las teorías de bioacumulación de los COPs, aun cuando la presencia de los residuos sólidos se relativamente nueva y su impacto no es aun evidente.

Cuadro 13. Comparación de Dioxinas, furanos y PCB's contenidos en las muestras de residuos sólidos, tomadas en el periodo 1, tiempo húmedo y el periodo 2 tiempo seco.

| COMPARACIÓN TIEMPO HÚMEDO TIEMPO SECO PARA MUESTRAS DE RESIDUOS SOLIDOS | | | | | | |
|---|---------------|------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| DIOXINAS | CONCENTRACIÓN | | | | | |
| | M1-Cenizas | M2-Cenizas | M1-Abono Orgánico | M2-Abono Orgánico | M1-RS Inorgánicos | M2-RS Inorgánicos |
| "2378-TCDD" | 6305,76 | 3983,74 | 3542,56 | 2238,05 | 1530,52 | 966,93 |
| "12378-PCDD" | 33133,86 | 20932,69 | 18614,53 | 11759,94 | 8042,20 | 5080,75 |
| "123478-HxCDD" | 2863,30 | 1808,92 | 1608,59 | 1016,25 | 694,98 | 439,06 |
| "123678-HxCDD" | 2533,88 | 1600,81 | 1423,53 | 899,33 | 615,02 | 388,55 |
| "123789-HxCDD" | 3644,56 | 2302,49 | 2047,51 | 1293,54 | 884,60 | 558,86 |
| "1234678-HpCDD" | 5173,55 | 3268,45 | 2906,49 | 1836,21 | 1255,72 | 793,31 |
| "OCDD" | 11,53 | 7,28 | 6,48 | 4,09 | 2,80 | 1,77 |
| FURANOS | CONCENTRACIÓN | | | | | |
| | M1-Cenizas | M2-Cenizas | M1-Abono Orgánico | M2-Abono Orgánico | M1-RS Inorgánicos | M2-RS Inorgánicos |
| "2378-TCDF" | 3381,65 | 2812,30 | 1899,81 | 1579,95 | 820,79 | 682,60 |
| "12378-PCDF" | 6157,36 | 5120,68 | 3459,19 | 2876,79 | 1494,50 | 1242,88 |
| "23478-PCDF" | 69073,84 | 57444,28 | 38805,53 | 32272,07 | 16765,49 | 13942,79 |
| "123478-HxCDF" | 17763,69 | 14772,92 | 9979,60 | 8299,40 | 4311,58 | 3585,66 |
| "123678-HxCDF" | 19319,18 | 16066,52 | 10853,47 | 9026,14 | 4689,12 | 3899,64 |
| "234678-HxCDF" | 18073,61 | 15030,66 | 10153,71 | 8444,19 | 4386,80 | 3648,22 |
| "123789-HxCDF" | 3279,73 | 2727,54 | 1842,54 | 1532,33 | 796,05 | 662,02 |
| "1234678-HpCDF" | 133534,47 | 111052,06 | 75019,37 | 62388,80 | 32411,28 | 26954,38 |
| "1234789-HpCDF" | 1090,83 | 907,17 | 612,82 | 509,65 | 264,76 | 220,19 |
| "OCDF" | 112,72 | 93,74 | 63,33 | 52,66 | 0,00 | 22,75 |
| dl-PCB's | CONCENTRACIÓN | | | | | |
| | M1-Cenizas | M2-Cenizas | M1-Abono Orgánico | M2-Abono Orgánico | M1-RS Inorgánicos | M2-RS Inorgánicos |
| "PCB 81" | 0,21 | 0,09 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| "PCB 77" | 0,80 | 0,34 | 0,45 | 0,19 | 0,20 | 0,08 |
| "PCB 123" | 0,03 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| "PCB 118" | 0,23 | 0,10 | 0,13 | 0,05 | 0,00 | 0,02 |
| "PCB 114" | 0,23 | 0,10 | 0,13 | 0,06 | 0,06 | 0,00 |
| "PCB 105" | 0,26 | 0,11 | 0,00 | 0,06 | 0,06 | 0,03 |
| "PCB 126" | 1594,01 | 672,58 | 895,51 | 377,86 | 386,89 | 163,25 |
| "PCB 167" | 0,02 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| "PCB 156" | 2,74 | 1,16 | 1,54 | 0,65 | 0,67 | 0,28 |
| "PCB 157" | 1662,41 | 701,45 | 933,94 | 394,07 | 403,50 | 170,25 |
| "PCB 169" | 90,39 | 38,14 | 50,78 | 21,43 | 21,94 | 9,26 |
| "PCB 189" | 0,78 | 0,33 | 0,00 | 0,19 | 0,00 | 0,08 |

Fuente: esta investigación.

La mayor concentración de PCDD/PCDFs y PCB's se identificó en la zona de muestreo donde se evidencio presencia de cenizas de incineración (C_{1.1} y C_{2.1}), confirmando así que la mayor formación de estos compuestos se genera cuando los residuos sólidos son sometidos a tratamientos térmicos. La menor concentración es de los PCB's demostrando así que si hay presencia pero en concentraciones bajas, por lo que no son representativas.

Cuadro 14. Comparación de Dioxinas, furanos y PCB's contenidos en las muestras de aguas, tomadas en el periodo 1, tiempo húmedo y el periodo 2 tiempo seco.

| COMPARACIÓN TIEMPO HÚMEDO TIEMPO SECO PARA MUESTRAS DE AGUAS | | | | | | |
|--|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------|----------------|
| DIOXINAS | CONCENTRACIÓN | | | | | |
| | M1-Aguas arriba | M2-Aguas arriba | M1-Punto de vertimiento | M2-Punto de vertimiento | M1-Aguas abajo | M2-Aguas abajo |
| "2378-TCDD" | 16,67 | 20,86 | 53,50 | 60,46 | 7,74 | 11,56 |
| "12378-PCDD" | 87,58 | 109,58 | 281,14 | 317,68 | 40,69 | 60,74 |
| "123478-HxCDD" | 7,57 | 9,47 | 24,29 | 27,45 | 3,52 | 0,00 |
| "123678-HxCDD" | 6,70 | 0,00 | 21,50 | 24,29 | 3,11 | 0,00 |
| "123789-HxCDD" | 9,63 | 12,05 | 30,92 | 34,94 | 4,48 | 0,00 |
| "1234678-HpCDD" | 13,68 | 17,11 | 43,90 | 49,60 | 6,35 | 9,48 |
| "OCDD" | 0,03 | 0,00 | 0,10 | 0,00 | 0,01 | 0,00 |
| FURANOS | CONCENTRACIÓN | | | | | |
| | M1-Punto de vertimiento | M2-Punto de vertimiento | M1-Aguas arriba | M2-Aguas arriba | M1-Aguas abajo | M2-Aguas abajo |
| "2378-TCDF" | 15,49 | 18,13 | 4,83 | 6,25 | 2,24 | 0,00 |
| "12378-PCDF" | 28,21 | 33,00 | 8,79 | 11,38 | 4,08 | 4,68 |
| "23478-PCDF" | 316,45 | 370,25 | 98,58 | 127,72 | 45,80 | 52,55 |
| "123478-HxCDF" | 81,38 | 95,22 | 25,35 | 32,84 | 11,78 | 13,51 |
| "123678-HxCDF" | 88,51 | 103,55 | 27,57 | 35,72 | 12,81 | 14,70 |
| "234678-HxCDF" | 82,80 | 96,88 | 25,79 | 33,42 | 11,98 | 13,75 |
| "123789-HxCDF" | 15,03 | 17,58 | 4,68 | 6,06 | 2,17 | 0,00 |
| "1234678-HpCDF" | 611,77 | 715,77 | 190,58 | 246,90 | 88,53 | 101,59 |
| "1234789-HpCDF" | 5,00 | 5,85 | 1,56 | 0,00 | 0,72 | 0,00 |
| "OCDF" | 0,52 | 0,00 | 0,16 | 0,00 | 0,07 | 0,00 |
| di-PCBS | CONCENTRACIÓN | | | | | |
| | M1-Punto de vertimiento | M2-Punto de vertimiento | M1-Aguas arriba | M2-Aguas arriba | M1-Aguas abajo | M2-Aguas abajo |
| "PCB 126" | 9,53 | 6,73 | 2,38 | 1,97 | 1,11 | 1,24 |

| | | | | | | |
|-----------|------|------|------|------|------|------|
| "PCB 157" | 9,94 | 7,02 | 2,49 | 2,06 | 1,15 | 1,29 |
| "PCB 169" | 0,54 | 0,38 | 0,14 | 0,11 | 0,06 | 0,07 |

Fuente: esta investigación.

La mayor concentración de PCDD/PCDFs y PCB's se identificó en el punto de vertimiento debido a que esta se encontraba en la zona de lixiviados, sin embargo la concentración de PCDD/PCDFs y PCB's encontrada es baja lo que evidencia que en el agua estos compuestos no son solubles, la menor concentración de PCDD/PCDFs y PCB's se identificó en la zona de muestreo aguas abajo, debido a condiciones propias de la topografía de la planta de tratamiento, y que para el momento de muestreo los canales estaban colmatados, ocasionando que las aguas permanezcan estancadas, generando los resultados obtenidos, asimismo en estas muestras debido a la baja concentración de PCDD/PCDFs y PCB's presentes y al límite de respuesta del cromatógrafo de gases no todos los congéneres fueron identificados.

Cuadro 15. Comparación de Dioxinas, furanos y PCB's contenidos en las muestras de suelo, tomadas en el periodo 1, tiempo húmedo y el periodo 2 tiempo seco.

| COMPARACIÓN TIEMPO HÚMEDO TIEMPO SECO PARA MUESTRAS DE SUELO. | | | | | | |
|---|---------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| DIOXINAS | CONCENTRACIÓN | | | | | |
| | M1-C suelo | M2-C suelo | M1-AO suelo | M2-AO suelo | M1-RI suelo | M2-RI suelo |
| "2378-TCDD" | 150,29 | 174,34 | 19,37 | 28,07 | 13,25 | 19,44 |
| "12378-PCDD" | 789,72 | 916,08 | 101,77 | 147,52 | 69,64 | 102,13 |
| "123478-HxCDD" | 68,24 | 79,16 | 8,79 | 12,75 | 6,02 | 8,83 |
| "123678-HxCDD" | 60,39 | 70,06 | 7,78 | 11,28 | 5,33 | 7,81 |
| "123789-HxCDD" | 86,87 | 100,76 | 11,19 | 16,23 | 7,66 | 11,23 |
| "1234678-HpCDD" | 123,31 | 143,04 | 15,89 | 23,03 | 10,87 | 15,95 |
| "OCDD" | 0,27 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| FURANOS | CONCENTRACIÓN | | | | | |
| | M1-C suelo | M2-C suelo | M1-AO suelo | M2-AO suelo | M1-RI suelo | M2-RI suelo |
| "2378-TCDF" | 80,60 | 93,50 | 10,39 | 13,36 | 7,11 | 9,67 |
| "12378-PCDF" | 146,76 | 170,24 | 18,91 | 24,32 | 12,94 | 17,60 |
| "23478-PCDF" | 1646,33 | 1909,74 | 212,16 | 272,82 | 145,18 | 197,49 |
| "123478-HxCDF" | 423,39 | 491,13 | 54,56 | 70,16 | 37,34 | 50,79 |
| "123678-HxCDF" | 460,46 | 534,13 | 59,34 | 76,30 | 40,60 | 55,24 |
| "234678-HxCDF" | 430,77 | 499,70 | 55,51 | 71,39 | 37,99 | 51,67 |
| "123789-HxCDF" | 78,17 | 90,68 | 10,07 | 12,95 | 6,89 | 9,38 |
| "1234678-HpCDF" | 3182,71 | 3691,94 | 410,14 | 527,42 | 460,59 | 381,79 |
| "1234789-HpCDF" | 26,00 | 30,16 | 0,00 | 4,31 | 3,76 | 0,00 |
| "OCDF" | 2,69 | 3,12 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

| dl- PCB's | CONCENTRACIÓN | | | | | |
|-----------|---------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | M1-C suelo | M2-C suelo | M1-AO suelo | M2-AO suelo | M1-RI suelo | M2-RI suelo |
| "PCB 126" | 379,92 | 269,74 | 48,96 | 29,75 | 33,50 | 27,30 |
| "PCB 157" | 396,22 | 281,32 | 51,06 | 31,03 | 34,94 | 28,47 |
| "PCB 169" | 21,54 | 15,30 | 2,78 | 1,69 | 1,90 | 1,55 |

Fuente: esta investigación.

La mayor concentración de PCDD/PCDFs y PCB's se identificó en la zona de muestreo del suelo cercano donde se realizaban las incineraciones sin ninguna medida de prevención, control, infraestructura o tecnología adecuada, La menor concentración de PCDD/PCDFs y PCB's se identificó en la zona de muestreo del suelo cercano al depósito de residuos sólidos inorgánicos, lo anterior indica la capacidad de bioacumulación que presentan estos compuestos con respecto al tiempo de exposición.

El análisis de PCDD/PCDFs y PCB's desarrollado en los residuos sólidos, el agua y el suelo de muestras tomadas de la planta de tratamiento del Valle de Sibundoy son evidencia para la presencia de estos compuestos y aunque la concentración encontrada está por debajo de los límites permisibles, los resultados aquí expuestos indican que hay que tener cuidado con el manejo de los residuos sólidos pues con el tiempo pueden llegar a concentraciones considerables, generando graves consecuencias para la salud y el medio ambiente de las áreas circundantes a las zonas de manejo de los residuos sólidos.

7.2.10 Validación del método analítico. El método de análisis de dioxinas y furanos utilizado en este estudio se validó previamente en el LACOPs de la Universidad de Antioquia. Durante los análisis se siguió el método EPA1613 y se registraron todos los resultados obtenidos para las pruebas: límite de detección del método (LDM), límite de cuantificación del método (LCM), linealidad, exactitud, porcentaje de recuperación y precisión. El cuadro 16 muestra el LDM, el LCM, la desviación estándar para el cálculo de la exactitud y el coeficiente de variación obtenido en el análisis de la precisión del método analítico para cada congénere de PCDD/PCDFs y PCB's.

Cuadro 16. Datos de validación del método analítico de análisis de PCDD/PCDFs y PCB's.

| Compuesto | LDM (pg) | LMC (pg) | Desviación estándar | Coficiente de variación (%) |
|--------------|----------|----------|---------------------|-----------------------------|
| 2378-TCDF | 19.26 | 61.29 | 3.04 | 12.25 |
| 2378-TCDD | 8.22 | 27.43 | 5.33 | 13.69 |
| 2378-PCDF | 64.75 | 215.97 | 3.34 | 22.46 |
| 23478-PCDF | 83.97 | 280.07 | 23.57 | 22.18 |
| 12378-PCDD | 45.34 | 144.25 | 31.27 | 24.19 |
| 123478-HxCDF | 92.69 | 275.44 | 13.85 | 10.78 |
| 123678-HxCDF | 51.70 | 172.46 | 11.67 | 19.61 |
| 234678-HxCDF | 85.81 | 273.02 | 11.04 | 25.02 |

| | | | | |
|---------------|--------|--------|------|-------|
| 123789-HxCDF | 117.66 | 374.36 | 5.80 | 22.59 |
| 123478-HxCDD | 129.78 | 385.67 | 8.70 | 6.74 |
| 123678-HxCDD | 101.59 | 323.23 | 8.45 | 14.31 |
| 123789-HxCDD | 39.71 | 126.34 | 6.49 | 23.95 |
| 1234678-HpCDF | 63.81 | 203.02 | 0.82 | 16.20 |
| 1234789-HpCDF | 64.33 | 204.69 | 0.75 | 20.82 |
| 1234678-HpCDD | 116.00 | 344.71 | 0.75 | 11.71 |
| OCDD | 136.40 | 433.97 | 0.15 | 18.38 |
| OCDF | 86.33 | 256.55 | 0.04 | 17.03 |

Fuente: laboratorio de análisis contaminantes persistentes LACOPs.

En la prueba de exactitud hubo conformidad para los congéneres. Para la determinación de la precisión, específicamente reproducibilidad, todos los congéneres cumplieron con el criterio establecido de coeficiente de variación (CV) menor o igual al 30%. Por tanto, el método de análisis se acepta como preciso. En la prueba de linealidad (datos no mostrados) se encontró que el criterio de aceptación para los congéneres marcados es satisfactorio con valores de desviación estándar relativa (RSD) < 30 %. En general, los resultados del conjunto de pruebas realizadas para la validación del método dieron garantía de que el equipo HRGC/MS/MS con trampa de iones (Saturn 2000) utilizado en el laboratorio es adecuado para la determinación de dioxinas, furanos y dl-PCB's por encima del LCM calculado.

7.3 EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL GENERADO POR PCDD/PCDFS Y PCB'S. PRESENTES EN MUESTRAS DE RESIDUOS SÓLIDOS

7.3.1 Impacto En La Salud Humana. La presentación de efectos tóxicos causado por estos compuestos en el ser humano se relacionan con exposición ocupacional, accidental o por consumo de alimentos con residuos. Es así como los primeros reportes remontan a la Guerra de Vietnam en la que individuos expuestos al "agente naranja", desarrollaron una lesión des-figurativa de la piel, identificada como "cloroacné". Esta misma alteración fue reportada en forma masiva en un grupo de trabajadores de una fábrica donde se elaboraban compuestos químicos a base de cloro y en personas expuestas en el accidente de Seveso (Eaton, 2006; Embid, 2004). Otro efecto producido por las dioxinas, reportado en humanos, es la presencia de pequeñas manchas oscuras en la piel (OMS, 2007).

La exposición masiva a dioxinas, ocurrida en 1976 tras el accidente de Seveso, Italia, fue estudiada veinte años después en la población habitante de tres diferentes zonas y una vez realizados los análisis estadísticos correspondientes, permitieron asegurar que aumentó la incidencia de cáncer en los habitantes de la zona, específicamente de piel, recto y pulmón, así como neoplasias linfohemopoyéticas, leucemia mieloide, linfoma no Hodgkin (Bertazzi et ál., 2000). En otros estudios se reporta la inducción de hipotiroidismo en niños nacidos de madres expuestas a dioxinas en Seveso (Baccarelli et ál., 2008).

Un estudio de cohortes desarrollado en 20.000 mujeres embarazadas en San Francisco, durante la década de los 60, permitió relacionar las concentraciones de policlorados bifenílicos (sustancias de la familia de las dioxinas), encontradas en las madres, con el género de los niños nacidos de ellas. Este estudio indica que ante la exposición de madres a altas concentraciones de compuestos clorinados, aumenta el nacimiento de mujeres y disminuye el de hombres (Hertz-Picciotto, 2008). Estudios realizados hace ya casi cuarenta años, indican cierta relación entre la exposición de madres a dioxinas y la incidencia de anomalías cerebrales de sus hijos, principalmente en los lóbulos frontales, con la consecuente alteración de la capacidad de atención, algunas anomalías afectivas y emotivas, así como dificultades de aprendizaje, principalmente en niñas (Wang, 2006; Embid, 2004). Los efectos carcinógenos de las dioxinas se han demostrado en biomodelos, asimismo existen estudios epidemiológicos como el realizado en Italia, en una población de personas expuesta a emisiones de incineración y de plantas industriales, demuestran alto riesgo de presentación de sarcomas por la exposición prolongada a dioxinas en hombres y mujeres, pero con mayor incidencias en las segundas (Zambón, et ál., 2007), igualmente se demuestra alta incidencia de presentación de leucemia linfocítica crónica y sarcomas en diferentes tipos de tejido blando, en individuos expuestos al "agente naranja". Estudios desarrollados en humanos que han tenido exposición laboral a TCDD muestran mayor incidencia de cáncer de próstata, glándula mamaria y testículo (Kogevinas, 2001). Con relación al efecto disruptor endocrino, una de las principales alteraciones demostradas en humanos es la presencia de pubertad precoz en niñas de corta edad, relacionada con la exposición a dioxinas (Gregoraszczyk, 2005). En Alemania ya demostrada la inducción de endometriosis por dioxinas en monas *Macacus Rhesus*, se iniciaron investigaciones epidemiológicas que permitieron, posteriormente, afirmar que las mujeres con diagnóstico de endometriosis tienen niveles sanguíneos de PCBs superiores a las mujeres sanas; de manera similar, se reporta que en Bélgica, uno de los países con mayores niveles de contaminación con dioxinas, se muestra alta incidencia de endometriosis sin causa aparente (Bruner-Tran et ál., 2008; Rier, 2003). Estudios similares al anterior y realizados hace más de una década en Alemania, buscaron determinar la relación de la exposición a dioxinas durante más de treinta años con la presentación de enfermedades cardiovasculares, en trabajadores de una fábrica de plaguicidas (herbicidas 2,5 D y 2,4,5 T), en Hamburgo (Alemania). Debido a que el estudio usó la metodología de cohortes comparó el grupo expuesto a dioxinas con un grupo de trabajadores de una fábrica de gas. Los resultados indicaron que hubo 2,5 veces mayor probabilidad de morir por enfermedad coronaria en el grupo expuesto a dioxinas. Dentro de la sociedad científica este estudio se consideró concluyente debido a la duración del mismo, a la correcta elección de las cohortes, al manejo de las variables, así como por la cuantificación de niveles de dioxinas en los trabajadores expuestos (Dieter, 1995).

Los investigadores logran demostrar que las mujeres expuestas a policlorados del tipo de las dioxinas, muestran alta prevalencia de enfermedades cardiovasculares (Ha, et ál., 2007).

Finalmente y a manera de consolidado de toda la información recogida, la Comisión Agente Naranja de Nueva Jersey tras estudios realizados en los soldados presentes en Vietnam, estructura una lista de enfermedades causada por la exposición a dioxinas, son estas, cáncer de próstata, de pulmón, laringe, tráquea; neuropatía periférica (aguda y subaguda), espina bífida en los hijos de los veteranos de Vietnam, cloracné, linfoma no Hodgkin, que incluye cualquier diagnóstico de linfoma (excepto linfoma de Hodgkin), micosis fungoide y denominaciones antiguas como linfosarcoma, sarcoma de células reticulares y sarcoma de Sternberg, porfiria cutanea tarda, mieloma múltiple, enfermedad de Hodgkin, sarcoma del tejido blando (fibrosarcoma adulto, dermatofibrosarcoma protuberans, histocitoma fibroso maligno, liposarcoma, liomiosarcoma, liomiosarcoma epiteliode (liomioblastoma maligno, rabdomyosarcoma, ectomesenquimoma, angiosarcoma (hemangiosarcoma y linfangiosarcoma). También se reporta angioendoteliomatosis proliferante, hemangiopericitoma, sarcoma sinovial (sinovioma maligno), tumor maligno de las células gigantes de las fascias de los tendones schwannoma maligno, incluyendo schwannoma maligno con diferenciación rabdomyoblástica (tumor de Triton maligno), schwannomas glandulares y epiteliodes malignos, mesenquimoma maligno, tumor maligno de las células granulosas, sarcoma de la parte blanda alveolar, sarcoma epiteliode, sarcoma de las células claras de tendones y poneurosis, sarcoma de Ewing extraesquelético, fibrosarcoma congénito e infantil y anglioneuroma maligno (Ebid, 2004).

7.3.2 Criterios de evaluación matriz de impactos

Acumulación del impacto (A)

| CRITERIO | CONCEPTO | VALOR |
|----------------|---|-------|
| Acumulativo | La acción del impacto se incrementa o acentúa en el tiempo | 5 |
| No Acumulativo | La acción del impacto no se incrementa o acentúa en el tiempo | 1 |

Magnitud del impacto (M)

| | | |
|-------|---|---|
| Alta | Cuando todas las propiedades esenciales del elemento ambiental son afectadas por el impacto | 5 |
| Medio | Cuando algunas propiedades esenciales del elemento ambiental son afectadas por el impacto | 3 |
| Baja | Cuando una propiedad esencial del elemento ambiental es afectada por el impacto | 1 |

Duración del impacto (D)

| | | |
|-------------|---|---|
| Largo plazo | La acción del impacto se presenta en un | 5 |
|-------------|---|---|

| | | |
|---------------------------------------|---|---|
| | plazo mayor de 24 horas una vez finalizada la actividad. | |
| Corto plazo | La acción del impacto se presenta en un plazo máximo de 24 horas una vez finalizada la actividad. | 3 |
| Inmediato | La acción del impacto se presenta sólo durante el desarrollo de la actividad. | 1 |
| Reversibilidad del impacto (R) | | |
| Irreversible | El elemento ambiental no puede retornar a la situación anterior a la acción | 5 |
| Reversible | El elemento ambiental puede retornar a la situación anterior a la acción | 1 |

Fuente: Universidad Santo tomas

7.3.2.1 Ecuación De Valoración Ambiental. Teniendo en cuenta los anteriores criterios de evaluación, se aplicó la siguiente fórmula de Valoración Ambiental (VA):

$$VA = 3A + 2M + D + R$$



Cuadro 17. Matriz de impactos ambientales.

| ASPI | MUESTRAS | CONGENERE | PORCENTAJE CONCENTRACION | CA | FARI | CARACTERISTICAS | IMPACTO | CLASE | ACUMULACION A MAGNITUD | DURACION O REVERENCIBADORA | YA = 1A, 2M + D + R | IMPACTO AMBIENTAL | | |
|------------------------------|----------|-----------------|--------------------------|-------|---------|---------------------------|--|----------------|------------------------|----------------------------|---------------------|-------------------|-------|--|
| URANOS, DIOXINAS, FI - PCB's | SUELO | "PCB 157" | 7,09% | BAJA | AGUA | Sedimentos | <p>Los COPs, resisten la degradación fotocítica, química y biológica. Se caracterizan por una baja solubilidad en agua y una alta solubilidad en lípidos, resultando bioacumulativos en los tejidos grasos de los organismos vivos. Una vez depositados en los ecosistemas terrestres o acuáticos, estas pueden fijarse en el suelo, en sedimentos o en la materia particulada, permanecer disueltas en agua o entrar en el compartimento biótico. Por consiguiente, pueden re-volatilizarse a la atmósfera o moverse entre compartimentos ambientales. Debido a estas características, tanto los humanos como los seres vivos en general están expuestos a los COPs, en muchos casos por periodos prolongados de tiempo.</p> <p>Sus propiedades bioacumulativas permiten su magnificación en los niveles tróficos más altos de las cadenas alimentarias. La biomagnificación debido a su incorporación a través de la dieta es uno de los factores de mayor importancia en cuanto a los niveles de exposición a estos compuestos. En particular, los alimentos de origen animal son los principales responsables de su ingesta diaria; están presentes en productos grasos como leche y productos lácteos, huevos, pescado y carne, así como en todo tipo de alimentos que contengan altas proporciones de lípidos.</p> | ACUMULATIVO | 5 | 5 | 5 | ALTA | | |
| | | "1234678-HpCDF" | 74,58% | ALTA | SALUD | Enfermedades cancerígenas | | ACUMULATIVO | 5 | 5 | 5 | 5 | ALTA | |
| | | "12378-PCDD" | 18,33% | BAJA | FAUNA | Bioacumulación | | ACUMULATIVO | 5 | 5 | 5 | 5 | ALTA | |
| | AGUAS | "PCB 157" | 0,83% | BAJA | FLORA | Adsorción | | ACUMULATIVO | 5 | 5 | 5 | 5 | ALTA | |
| | | "1234678-HpCDF" | 67,97% | ALTA | SUELO | Lluvia ácida | | ACUMULATIVO | 5 | 5 | 5 | 5 | ALTA | |
| | | "12378-PCDD" | 31,20% | MEDIA | | Material particulado | | ACUMULATIVO | 5 | 5 | 5 | 5 | ALTA | |
| | RESIDUOS | "PCB 157" | 0,79% | BAJA | AIRE | Material particulado | | NO ACUMULATIVO | 1 | 1 | 1 | 1 | BAJA | |
| | | "1234678-HpCDF" | 81,25% | ALTA | IMPACTO | Material particulado | | ACUMULATIVO | 5 | 5 | 5 | 5 | MEDIA | |
| | | "12378-PCDD" | 17,96% | BAJA | | Material particulado | | ACUMULATIVO | 5 | 5 | 5 | 5 | ALTA | |
| | | | | | | | | | | | | | | |

Fuente: Este informe 2014.



Después del análisis de los impactos, descritos en la matriz y en los subsecuentes cuadros, para la planta de tratamiento y recuperación de RSU no produce afectaciones altamente negativos en los componentes biofísicos considerados, debido a las bajas concentraciones encontradas, sin embargo esto no exime la producción de los impactos sino más bien hace que aún no sean severos.

Los impactos detectados están vinculados al manejo de los RSU por decirlo de algún modo, y de algunas emisiones esporádicas, consecuencia del mismo proceso de recuperación.

El tratamiento de los RSU presentes en el Valle de Sibundoy, ha contribuido de alguna manera para que concentraciones de dioxinas, furanos y dl-PCB's sean bajas sin embargo el impacto de estas sobre los factores agua, suelo, flora, fauna y salud se reportan o se clasifican según su concentración como altos, esto puede deberse en parte a las condiciones propias de la región (clima, topografía, condiciones de manejo, estado de los residuos y estado de la planta en el momento de tomar las muestras).

Sin embargo según la EPA, las características de un buen tratamiento de los residuos son características menos precursoras de la formación de dioxinas y furanos. Algunos reportes de la EPA indican que en base a análisis locales (EEUU) e internacionales las concentraciones de dioxinas provenientes de los residuos con un buen tratamiento, varían en un rango entre lo no detectable y 0.1 nanogramos de tóxico equivalente (TEQ) por metro cúbico estándar de residuo con 7 % de exceso de oxígeno.

Además la EPA, considera que la combustión y/o degradación de los residuos en rellenos sanitarios o similares con tratamientos adecuadamente controlados (antorchas, motores de combustión procesos de recuperación y aprovechamiento) con mínima generación de dioxinas y furanos es preferible a la emisión descontrolada de los mismos. En resumen, EPA considera que las emisiones potenciales de dioxinas a partir de los residuos con estas tipologías son pequeñas, y con manejos correctivos se pueden disminuir o mantener las concentraciones ya existentes.

Cuadro 18. Rango de clasificación de impactos ambientales negativos.

| CLASIFICACIÓN | VA |
|---------------|-------|
| Alta | 26-35 |
| Media | 16-25 |
| Baja | 7-15 |

Fuente: Universidad Santo tomas

Cuadro 19. Clasificación de impactos ambientales negativos

| Descripción del impacto ambiental | Aspecto ambiental afectado | Valoración Ambiental | Clasificación del impacto (alto, medio, bajo) |
|--|----------------------------|----------------------|---|
| Aumento en concentraciones de material particulado | Aire | 13 | Baja |
| Alteración de propiedades químicas del suelo | Suelo | 28 | Alta |
| Adsorción de contaminantes e inicio de bioacumulación | Flora | 31 | Alta |
| Bioacumulación de contaminantes y magnificación | Fauna | 29 | Alta |
| A través de la cadena trófica se a biomagnificado el contaminante y se ha transmitido hasta el último eslabón de la cadena | Salud | 31 | Alta |
| Aumento de sedimentos con material particulado contaminado | Agua | 31 | Alta |

Fuente: Este informe 2014.

Cuadro 20. Calificación para porcentaje de concentración.

| Calificación | Clasificación |
|--------------|---------------|
| De 0 a 30 % | baja |
| De 31 a 60% | media |
| De 61 a 100% | alta |

Fuente: Este informe 2014.

8. CONCLUSIONES

Se logró identificar de acuerdo a los procesos propios de la planta de tratamiento de residuos sólidos de "ASVALLE" que los COPs, están presentes en los residuos sólidos inorgánicos, en los residuos sólidos orgánicos (abono orgánico) y en especial en las cenizas presentes en la planta de tratamiento.

La planta de tratamiento "ASVALLE" en sus procesos de manejo de residuos sólidos genera contaminantes altamente tóxicos y perjudiciales para la salud y el medio ambiente como los PCDD/PCDFs y dl-PCBs, los cuales se identificaron bajo los análisis de laboratorio de la universidad de Antioquia.

La combustión no controlada representa el mayor porcentaje de la emisión total al medio ambiente. Las principales fuentes son la quema incontrolada de los residuos sólidos urbanos a cielo abierto en vertederos o botaderos, incendios forestales, quema de pradera y pasto y quema de residuos agrícolas.

9. RECOMENDACIONES

Medidas para la disminución de las emisiones de dioxinas y furanos.

Dado que las emisiones provienen del Proceso de Combustión a Cielo Abierto (quema de desechos domésticos y por lixiviados) son cuantitativamente las de mayor peso, es importante que las autoridades ambientales pertinentes evalúen las alternativas tecnológicas para el control de quemas no planificados.

- ✓ Revisar y tecnificar los procesos de la quema de los residuos en el campo.
- ✓ Establecer controles y vigilancia para evitar la quema en los campos de la empresa.
- ✓ Seguir con la clasificación de la basura desde el origen e incentivar el reciclado de los desechos.
- ✓ Minimizar la quema de basura en los vertederos a cielo abierto, con una vigilancia continua.
- ✓ Las autoridades municipales deben establecer políticas para la construcción de los rellenos sanitarios controlados.
- ✓ Aplicación de las Normas para que se registre el pesado de la basura y los incendios.
- ✓ Se recomienda a las autoridades implementar el registro de datos de las actividades que se realizan, básicamente de aquellas que en la investigación demostraron tener una participación importante en las emisiones de dioxinas y furanos. Esto permitiría que para las próximas investigaciones se pueda disponer de un banco de informaciones organizadas y Confiables.

BIBLIOGRAFÍA

- ABAD, Esteban et al. Supercritical fluid process for removal of polychlorodibenzodioxin and dibenzofuran from fly ash. En: *Environmental Progress*. Vol. 18, 1999, 40–49.
- ARISTIZÁBAL, Beatriz. Determinación de las emisiones de dioxinas y furanos en procesos de tratamiento térmico de residuos. Experiencia en Colombia. Universidad Nacional de Colombia, Octubre, 2011.
- Beard A., K.P. Naikwadi y F.W. Karasek. Formation of Polychlorinated Dibenzofurans by Chlorination and de novo Reaction with FeCl₃ in Petroleum Refining Industry. En: *Environment Science. Technology*. Vol. 27, 1993, p.1505-1512.
- COBO et al. Dioxinas y furanos en cenizas de incineración. En: *Revista faculta de ingeniería*, N° 32, 2004, p. 26.
- CONESA, Juan. Emisión de dioxinas y furanos a la atmósfera en el sector cementero. Universidad de Alicante, Departamento de Ingeniería Química, España, 2008.
- CORREA, Luis. Generación y manejo de residuos sólidos. Trabajo de grado para optar al título en ingeniería ambiental, Universidad de Antioquia, Medellín, Diciembre, 2012, p. 15.
- DAOAN, Zou. Co-destruction of organic pollutants in municipal solid waste leachate and dioxins in fly ash under supercritical water using H₂O₂ as oxidant. En: *Journal of Hazardous Materials*. Vol. 248, 2013, p. 177-184.
- DYKE et al. A Review of Dioxin Releases to Land and Water in the UK, Environment Agency, R&D Publication 3, Environment Agency, UK. 1997.
- EN-1948-1,2,3: 1996. European Standard, Stationary Source Emissions – Determination of the mass concentration of PCDDs/PCDFs. European Committee for Standardization, Brussels, 1996.
- ESQUER, Rosario. Reciclaje y tratamiento de los residuos sólidos urbanos. Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Civil, Instituto Politécnico Nacional, México, Junio, 2009, p. 4.
- FIEDLER, Heidelore. Dioxins and Furans; in: *The Handbook of Environmental Chemistry*, Vol. 3, Part O, Persistent Organic Pollutants, Berlin Heidelberg, 2003, p. 125-201.

- GIRALDO, Eugenio, *Tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios: Avances recientes*, Universidad de los Andes, 2012.
- HO, Anthony and CLEMENT, Ronald, Chlorinated dioxins/furans in sewage and sludge of municipal water pollution control plants. En: *Chemosphere*, vol. 20, 1990, 1459-1552.
- HUI, Liu et al. "Tecnologías de control de contaminación de dioxinas en la Incineración de residuos sólidos urbanos" The 7th International Conference on Waste Management and Technology. En: *Procedia Environmental Sciences*, vol. 16, 2012, p. 661-668.
- HTTP://WWW.BANCOMUNDIAL.ORG [En línea]. Disponible en: <http://www.bancomundial.org/>. Clasificación de las actividades que provocan impactos ambientales, 2006, [Consultado: 28 de Noviembre de 2013].
- HTTP://WWW2.UAH.ES. [En línea]. Disponible en http://www2.uah.es/tejedor_bio/bioquimica_ambiental/T2_dioxinas.pdf. [Consultado en Mocoa. Diciembre 04 de 2013].
- KNAPP, Carlos. Procesos para la reducción de emisiones gaseosas de compuestos organoclorados, Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo CYTED, Agosto 1998, p. 61-66.
- LORBER, Matthew. EPA's National Dioxin Air Monitoring Network (NDAMN): Design, implementation, and final results. En: *Atmospheric Environment*. Vol. 77, 2013, p. 311-317.
- MEDINA, Rodrigo. Manual de gestión integral de residuos sólidos. Proyecto de limpieza de tiradores a cielo abierto. Nuevo León, México, 2008-2009, p. 58.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Política Ambiental para la Gestión Integral de Residuos o Desechos Peligrosos. Colombia, 2005, p. 7.
- PEREZ et al. Dioxinas en procesos de incineración de residuos. Universidad Nacional de Colombia, Medellín, 2002, p. 66.
- PNUMA, Directrices sobre Mejores Técnicas Disponibles y orientación provisoria sobre Mejores Prácticas Ambientales según el Artículo 5 y el Anexo C del Convenio de Estocolmo, 2004.
- PNUMA, Instrumental Normalizado para la Identificación y Cuantificación de Liberaciones de Dioxinas y Furanos. Edición 2.1, diciembre 2005.

- PNUMA. Inventarios de dioxinas y furanos: Emisiones nacionales y regionales de PCDD/PCDFs, Ginebra-Suiza, 1999, p. 17.
- República de Colombia. Constitución Política de Colombia de 1991, artículo 177.
- Resolución 0058, 2002, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Colombia.
- Resolución 909, 2008, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Colombia.
- REZAEI, E. Dioxins and furans releases in Iranian mineral industries. *En: Chemosphere*. Vol. 91, 2013, p. 838-843.
- SÁNCHEZ, Griselda. Diagnóstico de la problemática de los residuos sólidos urbanos en el municipio de Ciudad Ixtepéc, Oaxaca, tesis para obtener el título en ingeniería ambiental. México, 2005, p. 4.
- SALAS, Juan Carlos y QUESADA Hilda. Impacto ambiental del manejo de desechos sólidos ordinarios en una comunidad rural, tecnología en marcha, 2006, vol. 19-3, p. 10.
- STANMORE, Brian. The formation of dioxins in combustion systems, *En: Combustion and flame*. Vol. 136 (Jun-Oct. 2004); p. 398-427.
- STEPHENS, Robert et al. Biotransfer and bioaccumulation of dioxins and furans from soil: Chickens as a model for foraging animals. *En: The Science of the Total Environment*, vol. 175, p. 253-273.
- TAYLOR, Eighmy. Comprehensive approach toward understanding element speciation and leaching behavior in municipal waste incineration electrostatic precipitator ash. *En: Environmental Science and Technology*. Vol. 29, 1995, 629-646.
- TOBIOS, Manuel y OBEID Andrés. Plan de manejo ambiental para el relleno sanitario del municipio de Coveñas-Sucre. Trabajo de grado para optar al título de ingeniero civil, Universidad de Sucre, 2004, p. 24.
- UK Department for Environment, Food and Rural Affairs. In: Dioxin and Dioxin-like PCBs in the UK environment, <http://www.scotland.gov.uk/Publications/2002/10/156655>, 2002.
- US EPA 1613, 1995. Tetra-through Octa-chlorinated Dioxins and Furans by Isotopic Dilution HRGC/HRMS, Washington.

US EPA 1668A, 1999. Chlorinated Biphenyl Congeners in Water, Soil, Sediment, and Tissue by HRGC/HRMS Dilution HRGC/HRMS, Washington.

VESCO, Laura. Residuos sólidos urbanos: su gestión integral en Argentina. Trabajo de grado para optar al título de abogada, Universidad Abierta Interamericana, Argentina, Agosto, 2006.