

**SEGUIMIENTO Y MEJORAMIENTO EN LOS PROCESOS DE MANEJO DE RESIDUOS Y  
CALIDAD DE AGUA EN EL DEPARTAMENTO DE GESTIÓN AMBIENTAL –  
SUPERINTENDENCIA DE INGENIERÍA AMBIENTAL EN LA EMPRESA CARBONES DEL  
CERREJÓN LIMITED**

**AUTOR  
CIELO MARÍA DELGADO MUÑOZ  
ID: 000319311**

**PRESENTADO A COMITÉ DE TRABAJO DE GRADO**

**ESCUELA DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
BUCARAMANGA  
2021**

**SEGUIMIENTO Y MEJORAMIENTO EN LOS PROCESOS DE MANEJO DE RESIDUOS Y  
CALIDAD DE AGUA EN EL DEPARTAMENTO DE GESTIÓN AMBIENTAL –  
SUPERINTENDENCIA DE INGENIERÍA AMBIENTAL EN LA EMPRESA CARBONES DEL  
CERREJÓN LIMITED**

**AUTOR  
CIELO MARÍA DELGADO MUÑOZ  
ID: 000319311**

**DIRECTOR PROYECTO DE GRADO:  
ALEXANDRA CERÓN VIVAS**

**SUPERVISOR DE LA PRÁCTICA EN LA EMPRESA:  
JUAN PABLO LOZANO SILVA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
BUCARAMANGA  
2021**

## Agradecimientos

En primer lugar, agradecer a Dios por su infinito amor hacia mí y los míos porque con su gracia y su misericordia hoy me permite cumplir un anhelo de mi corazón, porque ha sido mi sustento día tras día y me acompaña en cada paso que doy.

Agradecer a mi familia, a mi mamá Alexandra, mi nona Irma y mi hermana Sol, que son la base de lo que soy hoy en día, siempre me acompañan y me alientan para no desfallecer y contar con su presencia me hace el ser más afortunado del mundo. Agradecer a mis tíos Iris, Andrea y Beto; mis primos Sebastián, Paula, Miguel y Juanes, por cada consejo y aliento que han brindado y porque son la mayor bendición de mi vida. Agradecer a mi segunda familia, a Luis Solano que me ha acompañado compartiéndome su amor, su apoyo, sus consejos y su vida; a la Sra. Yanith y el Sr. Omar por ser mis papás adoptivos, apoyarme y acogerme en su hogar, a sus hermanos y a toda su familia por hacerme sentir especial y querida en cada momento compartido.

Mi gratitud hacia Cerrejón, una empresa que sí hace minería responsable y que me abrió sus puertas para realizar mis prácticas universitarias. Hice parte del mejor departamento, Gestión Ambiental está liderada por unas personas increíbles que realizan su trabajo con eficiencia y además siempre están dispuestos a apoyar y enseñar convirtiéndose en una familia. Agradecer al Sr. Luis M, Juan Pablo, Andrés I, Álvaro, Darío, Daniel, Lorena, Enelkys, Rosa, Diana, Mafe, Juan G, Juan T, Petter, Hernando, Jorge, Andrés C, Juan A, María O, Blanca, Jahnia, Ana, Ruddy, entre otras, que ocupan un lugar muy importante en mi corazón, porque me dieron su tiempo para aprender, su paciencia y experiencias que contribuyen en mi vida personal y profesional, por su confianza en mí. También, agradecer a Valentina, Nilson, Jorge, Carlos, Nevil, Emilly, Marcela, José, Melida, Andrés, María, Alex, Alberto, Sara, amigos que pude hacer durante mi estadía y que sé que serán grandes profesionales.

Finalmente, agradecer a mi Universidad Pontificia Bolivariana que me dio las bases para poder desempeñarme como profesional, a la Ingeniera Alexandra Cerón que desde sus clases hasta su asesoría me acompañó y orientó buscando siempre la excelencia. A la coordinadora Consuelo Castillo por cada consejo y palabra de aliento en este proceso de prácticas, quien intercedió por mí hasta el final; a la decana Yolanda Gamarra que me enseñó el amor por el ambiente y siempre estuvo atenta en toda mi carrera profesional, apoyándome y ayudándome en cada momento.

Mil gracias a cada persona que cruzó palabras en un pasillo o en cualquier lugar, que me brindó su sonrisa y su cálido saludo, porque ustedes también fueron testigos de este logro y hacen parte de la comunidad que me rodea y aprecio. A mis amigos de siempre, Víctor Otero, María José Álvarez, Luis Ramírez, gracias por tanto.

## Tabla de Contenido

<b>Introducción .....</b>	<b>12</b>
<b>Objetivos .....</b>	<b>13</b>
<b>Objetivo General .....</b>	<b>13</b>
<i>Objetivos Específicos .....</i>	<i>13</i>
<b>Generalidades De La Empresa .....</b>	<b>14</b>
<b>Diagnóstico De La Empresa .....</b>	<b>18</b>
<b>Metodología.....</b>	<b>24</b>
<b>Resultados y Discusión De La Práctica.....</b>	<b>26</b>
<b>Seguimientos Y Monitoreo A Los Procesos Ambientales Del Área Operativa.....</b>	<b>26</b>
<i>Rehabilitación de tierras: Adecuación .....</i>	<i>26</i>
<b>Gestión Integral De Los Residuos Desde Su Generación Hasta La Disposición Final con Aprovechamientos. ....</b>	<b>29</b>
<i>Prevención y Mitigación.....</i>	<i>72</i>
<i>Aprovechamiento.....</i>	<i>76</i>
<b>Análisis Hídrico Y Cumplimiento De La Normativa Legal Vigente.....</b>	<b>78</b>
<i>Marco poblacional.....</i>	<i>80</i>
<i>Parámetros a evaluar .....</i>	<i>82</i>
<i>Análisis .....</i>	<i>83</i>
<b>Conclusiones y Recomendaciones .....</b>	<b>119</b>
<b>Bibliografía .....</b>	<b>121</b>

## Lista de Figuras

<b>Figura 1. Logo de la empresa Carbones del Cerrejón Limited .....</b>	<b>14</b>
<b>Figura 2. Ubicación geográfica de la empresa Carbones del Cerrejón.....</b>	<b>15</b>
<b>Figura 3. Destinos de exportación de Carbón, Año 2020.....</b>	<b>15</b>
<b>Figura 4. Pilares Estratégicos Carbones del Cerrejón Limited .....</b>	<b>17</b>
<b>Figura 5. Estructura Oroganizacional Carbones del Cerrejón Limited .....</b>	<b>17</b>
<b>Figura 6. Nivelación y cargue de Carbón en los vagones del ferrocarril .....</b>	<b>18</b>
<b>Figura 7. Proceso productivo del Carbón Cerrejón.....</b>	<b>19</b>
<b>Figura 8. Estructura del departamento de Gestión Ambiental de Cerrejón.....</b>	<b>20</b>
<b>Figura 9. Estructura del sistema de Gestión Ambiental de Cerrejón .....</b>	<b>20</b>
<b>Figura 10. Red hídrica Cerrejón .....</b>	<b>22</b>
<b>Figura 11. Desarrollo de la práctica empresarial.....</b>	<b>25</b>
<b>Figura 12. Algunas de las especies encontradas en el Global Big Day.....</b>	<b>26</b>
<b>Figura 13. Embalse El Muerto.....</b>	<b>26</b>
<b>Figura 14. Etapas principales de la adecuación de tierras.....</b>	<b>27</b>
<b>Figura 15. Proceso de adecuación: rehabilitación de tierras .....</b>	<b>28</b>
<b>Figura 16. Proceso de adecuación de tierras.....</b>	<b>28</b>
<b>Figura 17. Informe Semanal Porcentaje de Adecuación .....</b>	<b>29</b>
<b>Figura 18. Elementos funcionales de la gestión de residuos .....</b>	<b>e30</b>
<b>Figura 19. Metodología Gestión Integral de Residuos.....</b>	<b>30</b>
<b>Figura 20. Manejo integral de residuos.....</b>	<b>31</b>
<b>Figura 21. Hileras de compostaje .....</b>	<b>36</b>
<b>Figura 22. Almacenamiento final del compostaje.....</b>	<b>36</b>
<b>Figura 23. Almacenamiento de lixiviados de la compostera .....</b>	<b>37</b>
<b>Figura 24. Zona de separación del material a compostar.....</b>	<b>37</b>
<b>Figura 25. Almacenamiento de madera residual.....</b>	<b>38</b>
<b>Figura 26. Diferentes tipos de madera residual.....</b>	<b>38</b>
<b>Figura 27. Compactación de la madera.....</b>	<b>38</b>
<b>Figura 28. Almacenamiento de mangueras residuales.....</b>	<b>39</b>
<b>Figura 29. Celda de Residuos Peligrosos .....</b>	<b>39</b>
<b>Figura 30. Residuos dentro de la celda de Respel.....</b>	<b>40</b>
<b>Figura 31. Aserrín contaminado.....</b>	<b>40</b>
<b>Figura 32. Cribado aserrín contaminado.....</b>	<b>41</b>
<b>Figura 33. Residuos de desecho que vienen con el aserrín contaminado .....</b>	<b>41</b>
<b>Figura 34. Mezcla de aserrín contaminado con los reactivos.....</b>	<b>42</b>
<b>Figura 35. Recolección de muestras .....</b>	<b>42</b>
<b>Figura 36. Piscina de grasas y lodos aceitosos .....</b>	<b>42</b>
<b>Figura 37. Estado y mantenimiento de la piscina de lodos aceitosos .....</b>	<b>43</b>

<b>Figura 38. Residuos de podas</b> .....	43
<b>Figura 39. Llantas para aprovechamiento</b> .....	44
<b>Figura 40. Llantas para aprovechamiento a cielo abierto</b> .....	44
<b>Figura 41. Elementos utilizados para el aprovechamiento de llantas</b> .....	45
<b>Figura 42. Recuperación de llanta capa por capa</b> .....	45
<b>Figura 43. Alambre dentro de las llantas</b> .....	45
<b>Figura 44. Caucho recuperado</b> .....	46
<b>Figura 45. Filtros de aire</b> .....	46
<b>Figura 46. Nueva celda de almacenamiento de filtros de aire</b> .....	46
<b>Figura 47. Bodega de reciclaje</b> .....	47
<b>Figura 48. Canecas de almacenamiento de residuos</b> .....	47
<b>Figura 49. Área de almacenamiento</b> .....	48
<b>Figura 50. Almacenamiento de geotextiles</b> .....	48
<b>Figura 51. Estructura filtro de aceite</b> .....	49
<b>Figura 52. Almacenamiento de filtros de aceite para recuperación</b> .....	49
<b>Figura 53. Área de corte de filtros</b> .....	49
<b>Figura 54. Almacenamiento de filtros</b> .....	50
<b>Figura 55. Separación de plástico</b> .....	50
<b>Figura 56. Compactación de botellas plásticas</b> .....	51
<b>Figura 57. Residuos plásticos</b> .....	51
<b>Figura 58. Envases de aceite vegetal contaminado con aceite de vehículos</b> .....	51
<b>Figura 59. Proceso de recuperación de cartón</b> .....	52
<b>Figura 60. Cilindros metálicos</b> .....	52
<b>Figura 61. Talleres permanentes</b> .....	54
<b>Figura 62. Materias primas necesarias para realizar mantenimiento de equipos</b> ..	55
<b>Figura 63. Canecas de almacenamiento de residuos en diferentes zonas</b> .....	55
<b>Figura 64. Almacenamiento de residuos dentro y fuera del taller permanente</b> .....	56
<b>Figura 65. Almacenamiento de residuos taller de soldadura</b> .....	56
<b>Figura 66. Almacenamiento de envases de pinturas</b> .....	56
<b>Figura 67. Fuentes de contaminación de residuos</b> .....	57
<b>Figura 68. Casetas de almacenamiento de residuos fuera de talleres</b> .....	57
<b>Figura 69. Derrame de hidrocarburos en lugares de almacenamiento</b> .....	57
<b>Figura 70. Aserrín contaminado</b> .....	58
<b>Figura 71. Rejillas de transporte de lodos</b> .....	58
<b>Figura 72. Viruta metálica</b> .....	59
<b>Figura 73. Escurridor de filtros de aceite</b> .....	59
<b>Figura 74. Informe mensual de generación de residuos</b> .....	65
<b>Figura 75. Flujo de proceso general talleres de mantenimiento</b> .....	66
<b>Figura 76. Flujo de residuos talleres de mantenimiento</b> .....	66

<b>Figura 77. Mantenimiento del motor</b> .....	67
<b>Figura 78. Mantenimiento de frenos</b> .....	67
<b>Figura 79. Cambio de aceite y filtros de aceite</b> .....	67
<b>Figura 80. Filtros de aire</b> .....	68
<b>Figura 81. Limpieza del carburador</b> .....	68
<b>Figura 82. Latonería y pintura</b> .....	68
<b>Figura 83. Proceso de disposición final: cambio de llantas</b> .....	69
<b>Figura 84. Ciclo PHVA</b> .....	70
<b>Figura 85. Metodología 5PQ</b> .....	71
<b>Figura 86. Etiquetado de recipientes de almacenamiento de residuos</b> .....	72
<b>Figura 87. Estructuración de capacitaciones</b> .....	73
<b>Figura 88. Capacitación de vigías y personal</b> .....	74
<b>Figura 89. Formato inspecciones ambientales: manejo de residuos</b> .....	75
<b>Figura 90. Metodología</b> .....	80
<b>Figura 91. Ubicación de resguardos indígenas en La Guajira</b> .....	81
<b>Figura 92. Títulos mineros y puntos de monitoreo</b> .....	82
<b>Figura 93. Datos geodésicos IGAC</b> .....	83
<b>Figura 94. Ubicación geográfica</b> .....	84
<b>Figura 95. Estaciones de precipitación</b> .....	85
<b>Figura 96. Comparación Cloruros y Sulfatos Enero 2018</b> .....	88
<b>Figura 97. Corregimiento Los Remedios</b> .....	89
<b>Figura 98. Comparación Cloruros y Sulfatos Febrero 2018</b> .....	90
<b>Figura 99. Arroyo Cerrejón aguas abajo</b> .....	90
<b>Figura 100. Comparación Cloruros y Sulfatos Marzo 2018</b> .....	91
<b>Figura 101. Comparación Cloruros y Sulfatos Abril 2018</b> .....	92
<b>Figura 102. Ubicación Punto de Muestreo Arroyo Cerrejón aguas abajo</b> .....	93
<b>Figura 103. Arroyo Cerrejón y títulos mineros</b> .....	93
<b>Figura 104. Comparación Cloruros y Sulfatos Mayo 2018</b> .....	94
<b>Figura 105. Comparación Cloruros y Sulfatos Junio 2018</b> .....	95
<b>Figura 106. Comparación Cloruros y Sulfatos Julio 2018</b> .....	96
<b>Figura 107. Comparación Cloruros y Sulfatos Agosto 2018</b> .....	97
<b>Figura 108. Comparación Cloruros y Sulfatos Septiembre 2018</b> .....	98
<b>Figura 109. Comparación Cloruros y Sulfatos Octubre 2018</b> .....	98
<b>Figura 110. Comparación Cloruros y Sulfatos Noviembre 2018</b> .....	99
<b>Figura 111. Comparación Cloruros y Sulfatos Diciembre 2018</b> .....	100
<b>Figura 112. Comparación Cloruros y Sulfatos Enero 2019</b> .....	101
<b>Figura 113. Comparación Cloruros y Sulfatos Febrero 2019</b> .....	102
<b>Figura 114. Comparación Cloruros y Sulfatos Marzo 2019</b> .....	103
<b>Figura 115. Comparación Cloruros y Sulfatos Abril 2019</b> .....	104

<b>Figura 116. Comparación Cloruros y Sulfatos Mayo 2019.....</b>	<b>104</b>
<b>Figura 117. Comparación Cloruros y Sulfatos Junio 2019.....</b>	<b>105</b>
<b>Figura 118. Comparación Cloruros y Sulfatos Julio 2019 .....</b>	<b>106</b>
<b>Figura 119. Comparación Cloruros y Sulfatos Agosto 2019.....</b>	<b>106</b>
<b>Figura 120. Comparación Cloruros y Sulfatos Septiembre 2019.....</b>	<b>107</b>
<b>Figura 121. Comparación Cloruros y Sulfatos Octubre 2019 .....</b>	<b>108</b>
<b>Figura 122. Comparación Cloruros y Sulfatos Noviembre 2019.....</b>	<b>109</b>
<b>Figura 123. Comparación Cloruros y Sulfatos Diciembre 2019 .....</b>	<b>109</b>
<b>Figura 124. Comparación Cloruros y Sulfatos Enero 2020 .....</b>	<b>110</b>
<b>Figura 125. Comparación Cloruros y Sulfatos Febrero 2020.....</b>	<b>111</b>
<b>Figura 126. Comparación Cloruros y Sulfatos Marzo 2020 .....</b>	<b>1123</b>
<b>Figura 127. Comparación Cloruros y Sulfatos Abril 2020.....</b>	<b>112</b>
<b>Figura 128. Comparación Cloruros y Sulfatos Mayo 2020.....</b>	<b>113</b>
<b>Figura 129. Comparación Cloruros y Sulfatos Junio 2020 .....</b>	<b>113</b>
<b>Figura 130. Comparación Cloruros y Sulfatos Julio 2020 .....</b>	<b>114</b>
<b>Figura 131. Comparación Cloruros y Sulfatos Agosto 2020.....</b>	<b>115</b>
<b>Figura 132. Comparación Cloruros y Sulfatos Septiembre 2020 .....</b>	<b>116</b>
<b>Figura 133. Comparación Cloruros y Sulfatos Octubre 2020.....</b>	<b>116</b>
<b>Figura 134. Comparación Cloruros y Sulfatos Noviembre 2020 .....</b>	<b>117</b>
<b>Figura 135. Comparación Cloruros y Sulfatos Diciembre 2020.....</b>	<b>118</b>
<b>Figura 136. Formato entrega de mapas .....</b>	<b>118</b>

**Lista de Tablas**

<b>Tabla 1. Sistema de recolección y transporte .....</b>	<b>31</b>
<b>Tabla 2. Descripción de puntos de almacenamiento (canecas).....</b>	<b>33</b>
<b>Tabla 3. Disposición final de residuos .....</b>	<b>34</b>
<b>Tabla 4. Almacenamiento de residuos – Bodega de reciclaje .....</b>	<b>52</b>
<b>Tabla 5. Estado actual de la disposición final de residuos .....</b>	<b>59</b>
<b>Tabla 6. Matriz DOFA.....</b>	<b>61</b>
<b>Tabla 7. Características de los residuos en talleres.....</b>	<b>69</b>
<b>Tabla 8. Capacitaciones programadas.....</b>	<b>73</b>
<b>Tabla 9. Nuevo código de colores de separación de residuos.....</b>	<b>75</b>
<b>Tabla 10. Puntos muestreados Arroyos y Ríos .....</b>	<b>84</b>
<b>Tabla 11. Estaciones pluviométricas .....</b>	<b>86</b>
<b>Tabla 12. Datos estaciones pluviométricas .....</b>	<b>86</b>



## RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

**TITULO:** SEGUIMIENTO Y MEJORAMIENTO EN LOS PROCESOS DE MANEJO DE RESIDUOS Y CALIDAD DEL AGUA EN EL DEPARTAMENTO DE GESTIÓN AMBIENTAL - SUPERINTENDENCIA DE INGENIERÍA AMBIENTAL EN LA EMPRESA CARBONES DEL CERREJÓN LIMITED

**AUTOR(ES):** Cielo María Delgado Muñoz

**PROGRAMA:** Facultad de Ingeniería Ambiental

**DIRECTOR(A):** Alexandra Cerón Vivas

### RESUMEN

El carbón es uno de los productos más relevantes dentro de la exportación colombiana, Cerrejón es una empresa ubicada en el Departamento de La Guajira que realiza extracción de carbón, es una de las minas a cielo abierto más grandes del mundo que incluye además el transporte férreo y su embarque en Puerto Bolívar. La operación viene acompañada de una rigurosa gestión que mitiga y previene los impactos ambientales posibles dentro de sus actividades, trae consigo una serie de procesos complejos que permiten el cumplimiento de los requerimientos normativos vigentes, por esta razón, existe un monitoreo y control a todos los componentes tales como Aire, Agua, Suelo, Biodiversidad, Residuos, etc. En la práctica empresarial desarrollada, se realizó un seguimiento a algunos procesos en el departamento, especialmente la fase de adecuación en la Rehabilitación de tierras. También, se analizó la forma en que se manejan los residuos dentro de la mina a partir de un diagnóstico, propuestas de aprovechamiento y realización de inspecciones ambientales con el fin de promover y adaptar las áreas para cumplir los estándares internos relacionados a su gestión integral. Finalmente, en la Calidad del agua, se evaluó el cumplimiento de los parámetros de Cloruros y sulfatos en el Río Ranchería y sus arroyos en el complejo minero a partir del análisis de información y la elaboración de mapas, con el fin de caracterizar cual zona se encuentra más vulnerable y sus posibles razones para exceder o no los valores máximos permisibles estipulados en las obligaciones legales.

### PALABRAS CLAVE:

Minería, Carbón, Gestión Ambiental, Rehabilitación, Residuos, Calidad de Agua

Vº Bº DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO



## GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

**TITLE:** MONITORING AND IMPROVEMENT OF WASTE MANAGEMENT AND WATER QUALITY PROCESSES IN THE ENVIRONMENTAL MANAGEMENT DEPARTMENT - SUPERINTENDENCY OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING IN THE COMPANY CARBONES DEL CERREJÓN LIMITED

**AUTHOR(S):** Cielo María Delgado Muñoz

**FACULTY:** Facultad de Ingeniería Ambiental

**DIRECTOR:** Alexandra Cerón Vivas

### ABSTRACT

Coal is one of the most relevant products in Colombian exports, Cerrejón is a company located in the Department of La Guajira that performs coal extraction, it is one of the largest open pit mines in the world that also includes rail transport and its shipment in Puerto Bolívar. The operation is accompanied by a rigorous management that mitigates and prevents possible environmental impacts within its activities, brings with it a series of complex processes that allow compliance with current regulatory requirements, for this reason, there is monitoring and control of all components such as Air, Water, Soil, Biodiversity, Waste, etc. In the business practice developed, a follow-up was carried out on some processes within the department, especially the adaptation phase in the Rehabilitation of lands. Also, the way in which waste is managed in the mine was analyzed based on a diagnosis, proposals for use and performance of environmental inspections in order to promote and adapt the areas to meet internal standards related to their comprehensive management. Finally, in water quality, compliance with the chlorides and sulfates parameters in the Ranchería River and its streams in the mining complex was evaluated based on the analysis of information and the preparation of maps, in order to characterize which area is finds it more vulnerable and its possible reasons for exceeding or not the maximum permissible values ??stipulated in legal obligations.

### KEYWORDS:

Mining, Coal, Environmental Management, Rehabilitation, Waste, Water Quality

Vº Bº DIRECTOR OF GRADUATE WORK

## Introducción

El carbón es uno de los combustibles fósiles más conocidos, se encuentra en abundancia y requiere de muchos años para su formación, algunas de sus funciones se relacionan a la generación de electricidad y procesos industriales, entre sus características se encuentra la seguridad y estabilidad. Las minas a cielo abierto son la técnica más común de extracción de carbón, Cerrejón es una de las grandes operaciones mineras mundiales que influye económicamente en el país y en especial en el Departamento de La Guajira donde se encuentra ubicado, en sus funciones se encuentra la exploración, la extracción a través de un riguroso control donde se realizan voladuras para obtener el carbón, el almacenamiento en pilas, el transporte en trenes y el embarque hasta Puerto Bolívar donde se realiza la exportación a diversos países del mundo.

Teniendo conciencia que las actividades antropogénicas siempre causan impactos ambientales, negativos o positivos, la actividad minera se acompaña de un departamento de gestión ambiental calificado para prevenir y mitigar cualquier efecto que relacione el ambiente y su entorno, de esta manera se incrementa la eficiencia y productividad que trae consigo reducción de costos y compromiso de cultura ecológica en cada trabajador de la empresa. Se busca lograr un equilibrio sostenible y lógico que desarrolle sectores económicos, sociales y ambientales, a partir de estándares que conserven la Calidad del Agua, Aire y Suelo, la biodiversidad, la gestión integral de residuos entre otros. El diagnóstico, acompañado de un seguimiento, permite analizar cómo se encuentran actualmente las condiciones de operación, además tomar medidas de acción que prevengan impactos negativos, especialmente al ambiente para el bienestar de las personas relacionadas directa e indirectamente con la empresa, luego debe fortalecerse con una adecuada administración que dirija de manera favorable los procesos, proponga alternativas y ejecute proyectos, esto es la gestión ambiental.

La Gestión ambiental incluye subprocesos, por ejemplo, en la Rehabilitación de tierras existen fases internas como la adecuación y la estabilización; en el manejo de residuos se encuentran las etapas de generación, almacenamiento y disposición final; y en la calidad de agua el manejo de lagunas, canales, estructuras de disipación, entre otros. Estos son algunos ejemplos que permiten que la mina opere cumpliendo las obligaciones legales ambientales vigentes, y que, además, se desmientan las noticias falsas donde indican el incumplimiento o destrucción descontrolada del entorno.

Se realiza un seguimiento a las actividades ambientales que actualmente se desarrollan en el Departamento de Gestión Ambiental, relacionadas a la adecuación de tierras, la gestión integral de residuos sólidos y el análisis hídrico de los parámetros de cloruros y sulfatos del Río Ranchería y sus arroyos dentro de la mina, esto se ejecuta con el fin de identificar necesidades y proponer alternativas de mejoramiento para la toma de decisiones que establece políticas de mitigación, control y compensación de impactos generados tras la operación y el ciclo de vida del proceso minero. Se hicieron visitas a campo, inspecciones e informes que permitieron obtener datos, fortalecer el proceso y fundamentar los aprendizajes.

## Objetivos

### Objetivo General

Proponer alternativas de mejoramiento en los procesos de manejo de residuos y calidad de agua, basados en estrategias sostenibles y requerimientos legales vigentes que influyen en las actividades mineras.

### *Objetivos Específicos*

1. Realizar seguimientos y monitoreos a los procesos ambientales del área operativa que se estén llevando a cabo mediante reportes y visitas periódicas.
2. Garantizar la gestión integral de los residuos desde su generación hasta la disposición final con aprovechamientos.
3. Monitorear la calidad del recurso hídrico y el cumplimiento de los parámetros ambientales definidos por la normativa legal vigente.

## Generalidades De La Empresa

- Nombre de la empresa: Carbones del Cerrejón Limited.
- Número NIT: 860069804 -2
- Dirección: Calle 100#19-54
- Número de trabajadores: 5.373 empleados directos y 4,497 empleados indirectos (contratistas)
- Turnos: La mina funciona continuamente los 7 días de la semana (incluyendo festivos) en turnos diurnos y nocturnos. Existen diferentes tipos de turnos que permiten el cumplimiento de labores según sean las actividades.
- Teléfono: (57) (1) 5955555

La empresa Carbones del Cerrejón se sitúa entre la Serranía de Perijá y las estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta en el extremo norte del país, por su ubicación, predominan ecosistemas que van desde bosques secos tropicales hasta pequeñas extensiones de páramo. Los inicios de operación de la empresa se remontan a 1983, dos años antes de lo previsto luego de firmar el contrato de Asociación entre Carbones de Colombia S.A (Carbocol) e Intercor (Baez & Trujillo, 2014). El logotipo de la empresa se muestra en la figura 1.

### Figura 1.

*Logo de la empresa Carbones del Cerrejón Limited*



*Nota. Adaptado de Carbones del Cerrejón limited (<https://www.cerrejon.com/>).*

Cuenta con sede central en la ciudad de Bogotá, pero su área operativa se localiza en el departamento de La Guajira, en el municipio de Albania (extracción, mantenimiento y oficinas administrativas) y Puerto Bolívar que es donde se hace el transporte y embarque del Carbón. Los títulos mineros tienen una extensión aproximada de 69.000 hectáreas, de las cuales se han intervenido más de 14.000 hectáreas, y 3.789 hectáreas han sido rehabilitadas desde 1990 (correspondiente a más del 90% de las áreas donde se han finalizado operaciones de extracción), esto incluye la siembra de más de 1,6 millones de árboles de 40 especies nativas de bosque seco tropical y más de 48 millones de metros cúbicos conservados en bancos de suelo que preservan sus características naturales y originales. En la Figura 2, se

observa la ubicación de la empresa vía satelital y su distribución incluyendo la línea ferra (Baez & Trujillo, 2014).

### Figura 2.

*Ubicación geográfica de la empresa Carbones del Cerrejón, Mina-Albania*

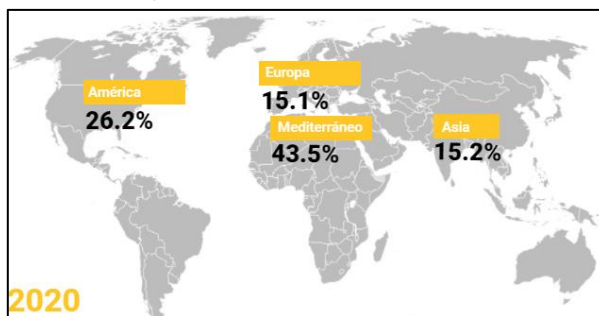


*Nota.* Adaptado de *Carbones del Cerrejón limited* (<https://www.cerrejon.com/>).

El carbón térmico es el producto principal que se explota dentro de la mina, de aquí que sea la mina de carbón a cielo abierto más grande de Colombia donde se producen aproximadamente 34 millones de toneladas por año que son comercializadas a nivel mundial. Antes de comercializar el carbón, este debe transportarse desde la mina hasta Puerto Bolívar, que es el puerto de Cerrejón ubicado en el mar caribe y con capacidad de recibir buques de hasta 18.000 toneladas, este transporte se realiza a través de una vía férrea que cuenta con 150 km de línea, seguidamente es cargado en buques para su transporte a diferentes partes del mundo, la figura 3 muestra los diferentes destinos de exportación durante el año 2020 donde la mayor contribución la realiza el Mediterráneo con 43,5% seguido de América con un 26,2% (Cerrejón, Cerrejón Minería Responsable, 2020).

### Figura 3.

*Destinos de Exportación de Carbón, Año 2020.*



*Nota.* Adaptado de *Carbones del Cerrejón limited* (<https://www.cerrejon.com/>).

Carbones del Cerrejón es propiedad de tres empresas extranjeras en gestión independiente que son BHP Billiton, Anglo American y Glencore Xstrata, divide su área de explotación en tres zonas que se nombran de acuerdo a su ubicación, estas son: zona Norte (compuesta por los Tajos Tabaco y La Puente, se conocen como nuevas áreas mineras 1 y 2 o NAMs), Zona Centro (conformada por los Tajos Patilla, Comuneros, Oreganal y Tajo 100.) y Zona Sur.

Con respecto a sus trabajadores, la mayoría son nativos de La Guajira, esto permite que la mina sea la principal fuente económica del departamento además de los altos valores de regalías e impuestos que aporta al país con su operación. A su vez, en vista de ejecutar de manera sostenible sus actividades, posee una política de responsabilidad social que incluye a las comunidades cercanas (en mayor parte indígenas) a las áreas de explotación que se vean afectadas directa e indirectamente en el proceso, para ello, la empresa cuenta con diversas fundaciones que buscan el progreso, compromiso y calidad de vida para las personas, tales como: Fundación Cerrejón para el Agua en la guajira, para el fortalecimiento institucional, para el progreso de La Guajira y Fundación Cerrejón Guajira indígena (Baez & Trujillo, 2014).

El estilo cerrejón hace parte de una serie de valores que permite desarrollar actividades responsables y seguras, que brindan una estructura organizacional sólida, entre esos está el Respeto, la responsabilidad, la ética, la transparencia, la integridad y el empoderamiento (Carbones del Cerrejón Limited, s.f.).

### **Misión**

Producir y exportar carbón de forma confiable, rentable y eficiente cumpliendo los más altos estándares de seguridad, medio ambiente, salud y ética empresarial, de esta manera se contribuye al progreso de sus trabajadores, comunidad aledaña y el departamento de La Guajira (Cerrejon Minería Responsable, s.f.).

### **Visión**

Ser reconocido como el productor y exportador de carbón a nivel mundial líder por su eficiencia y confiabilidad, siendo un aliado clave para el progreso y desarrollo de manera sostenible del departamento (Cerrejon Minería Responsable, s.f.).

### **Pilares Estratégicos**

Cerrejón posee 6 pilares estratégicos, ver figura 4, que se enfocan en Seguridad y Salud consolidando operaciones seguras sin accidentes y con acciones que permitan guardar la integridad de sus trabajadores en los diferentes procesos. Responsabilidad Social y ambiental mediante el desarrollo sostenible de forma ética; Nuestra gente desarrollando las competencias que permitan cumplir con los diferentes objetivos; Excelencia operacional que permita mejorar la planeación y operación con las mejores prácticas; Gestión de Proyectos que permitan sostener de forma segura y con el cumplimiento de estándares y tiempos dentro de la ejecución y futuras expansiones; finalmente, Rentabilidad de tal forma que sea una operación

competitiva a nivel mundial con sostenibilidad y creación de valor (Cerrejón, Cerrejón Minería Responsable, s.f.).

**Figura 4.**

*Pilares estratégicos Carbones del Cerrejón Limited*



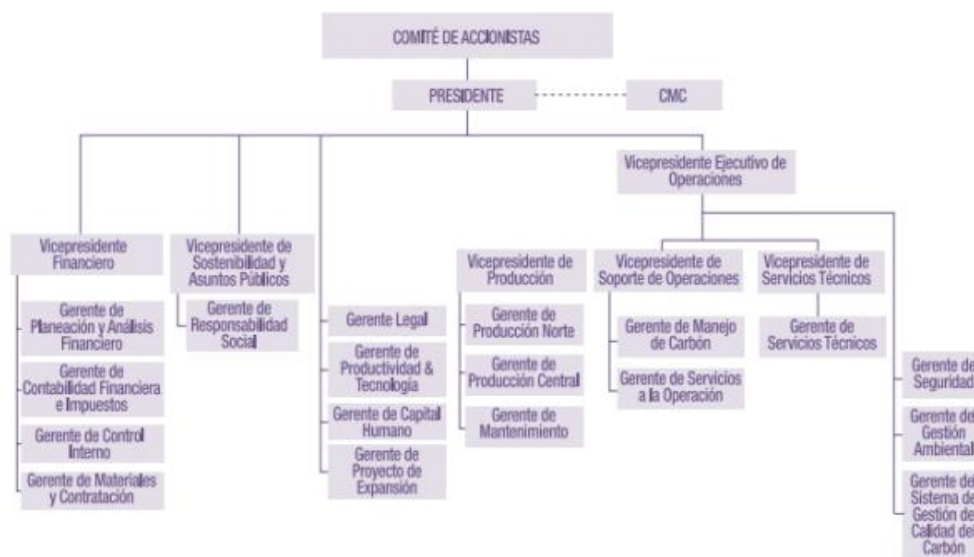
*Nota.* Adaptado de *Carbones del Cerrejón limited* (<https://www.cerrejon.com/>).

## Estructura Organizacional

La estructura de Carbones del Cerrejón Limited se compone por el presidente y los vicepresidentes, ellos son responsables de cumplir las metas establecidas en los aspectos sociales, económicos y ambientales. En la figura 5 se observa la estructura organizacional de la empresa Carbones del Cerrejón Limited (Cerrejon Minería Responsable, s.f.). La práctica se desarrolló en la vicepresidencia ejecutiva de operaciones.

**Figura 5**

*Estructura Organizacional Carbones del Cerrejón Limited.*



*Nota.* Adaptado de Informe de Sostenibilidad *Carbones del Cerrejón limited* (<https://www.cerrejon.com/>).

## Diagnóstico De La Empresa

Primero, es necesario conocer cuál es el proceso de producción de carbón para así tener noción de los impactos que puede generar esta operación. Alrededor del 70% del carbón minado se tritura inmediatamente y se despacha al tren, el porcentaje restante se almacena según su poder calorífico y propiedades como contenido de cenizas y azufre, cabe aclarar que algunos procesos de extracción incluyen material estéril que al mezclarse con el carbón requieren ser lavados (Cerrejón, Cerrejón Minería Responsable, s.f.), posteriormente a remover el estéril se utilizan cargadores con capacidad de 40 toneladas.

Luego de determinar la calidad del carbón a partir de pruebas, el carbón es triturado y apilado según su calidad, el movimiento se hace con camiones que van desde las 190 a las 320 toneladas. Para su viaje, el carbón es cargado en los silos, ver figura 6, dentro de los vagones del tren y posteriormente se realiza la nivelación de cargas y un riego que permite el control de material particulado. El transporte es realizado con trenes de 150 vagones aproximadamente, hace ciclos de 12 horas que incluyen carga, recorrido, descarga y regreso; cuando está en el puerto se apila de tal forma que conserve su calidad y se certifica antes de salir a embarque (Carbones del Cerrejón Limited, s.f.).

El proceso de descarga se realiza a través de las ranuras inferiores de cada vagón.

### Figura 6

*Nivelación y cargue de Carbón en los vagones del ferrocarril.*



*Nota.* Adaptado de Prensa *Carbones del Cerrejón limited* (<https://www.cerrejon.com/>).

La mayor parte del carbón proviene de mantos y se usa en mayor proporción para la generación de energía eléctrica, en menor proporción para calefacción e industria, la diferencia radica en el alto rendimiento del producto dentro de los procesos de combustión de Cerrejón a diferencia de otras empresas mineras. No es necesario realizar túneles para su extracción porque el mineral está a pocos metros de la superficie, sin embargo, es necesario la preparación de la superficie mediante un descapote que se conserva en reservorios de suelo, esto incluye remoción de material estéril; luego se procede a perforar con taladros para colocar los explosivos que permiten realizar la voladura (Cerrejón, Cerrejón Minería Responsable, s.f.).

Teniendo en cuenta que algunas zonas son irregulares, es importante colocar explosivos donde se encuentre el mineral, la voladura (que se realiza con emulsión elaborada en la empresa) necesita un estudio de materiales y de la zona que determinen los pozos que

sean necesarios y su distribución. Esta se realiza sin afectar el material volando únicamente la roca, usando el Paraplug que permite crear una cámara de aire cuidando que el carbón no se afecte por la combustión de la voladura (Cerrejón, Cerrejón Minería Responsable, s.f.). El proceso productivo del carbón se resume en la figura 7.

**Figura 7**

*Proceso productivo del Carbón Cerrejón*



*Nota.* Adaptado de *Carbones del Cerrejón limited* (<https://www.cerrejon.com/>).

## Departamento De Gestión Ambiental

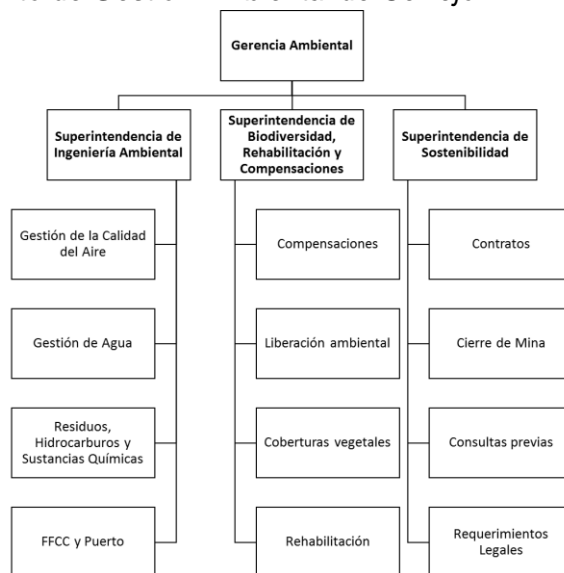
Para llevar a cabo una operación que involucre la minería responsable es importante el respeto por el medio ambiente, por esta razón, Cerrejón posee una gestión orientada a realizar sus operaciones en equilibrio y armonía con la sociedad y el medio ambiente, así mejoran el desarrollo de las comunidades y mejoran sus prácticas industriales. El departamento de Gestión Ambiental apoya las operaciones y actúa de manera transversal dentro de la organización a partir de diferentes actividades y responsabilidades, buscando el mejoramiento continuo a través del ciclo PHVA (planear, hacer, verificar y actuar), la gestión ambiental integrada del SIO y las necesidades ambientales que den cumplimiento a la actividad minera.

La política va más allá de cumplir las legislaciones ambientales vigentes, adopta indicadores y tecnologías que permitan usar de manera racional los recursos naturales que involucran el agua y las materias primas, la gestión de vertimientos, el control de emisiones atmosféricas como polvo y gases, la protección de fauna, la rehabilitación de tierras y la disposición final de residuos sólidos y peligrosos. El organigrama del departamento de Gestión Ambiental se puede ver en la figura 8.

La presente práctica empresarial se ejecutó en la superintendencia de Ingeniería Ambiental (el Superintendente encargado es Juan Pablo Lozano Silva, quien fue mi director y supervisor en la empresa), área operativa de Aire, Agua y Residuos.

**Figura 8**

*Estructura del departamento de Gestión Ambiental de Cerrejón.*

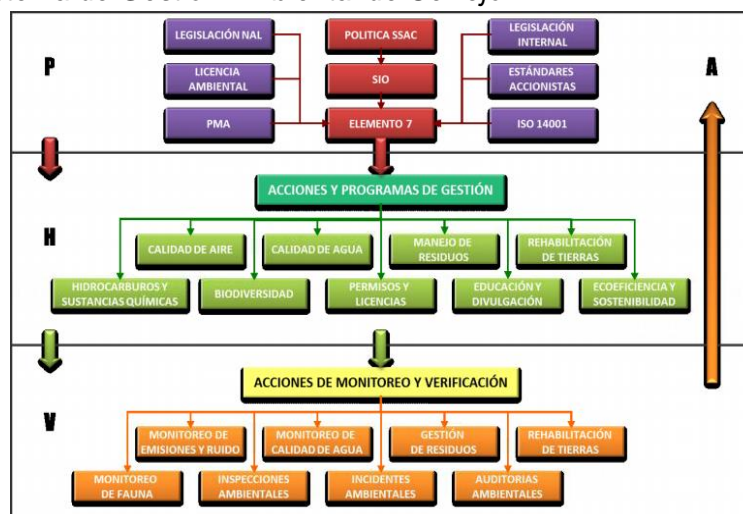


*Nota. Adaptado de Manual Ambiental, Departamento de Gestión Ambiental*

La figura 9 representa el funcionamiento del sistema de gestión ambiental dentro de Cerrejón basado en la metodología PHAV.

**Figura 9.**

*Estructura del sistema de Gestión Ambiental de Cerrejón.*



*Nota. Adaptado de Manual Ambiental, Departamento de Gestión Ambiental*

### ***Residuos Sólidos Y Peligrosos***

La empresa Carbones del Cerrejón cuenta con un Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos que busca maximizar el aprovechamiento y el reciclaje de los diferentes materiales generados, sin embargo, este plan está en proceso de actualización por lo que es importante la recolección de información, análisis e investigación para optimizar los procesos relacionados a la disposición de residuos tanto sólidos como peligrosos (Baez & Trujillo, 2014).

El plan busca un manejo adecuado de residuos que van desde su uso hasta su desecho, en busca de una economía circular deben proponerse alternativas menos contaminantes o procesos que permitan la reutilización de diversos materiales devolviendo su ciclo de vida.

Las etapas que componen el manejo de residuos se encuentran dentro del marco legal vigente e incluyen los procesos de separación, recolección, transporte, acopio, tratamiento, gestión externa y disposición final, en este último proceso Cerrejón cuenta con rellenos, celdas de disposición final, piscinas de lixiviados, landfarming o compostaje, escombreras, entre otras alternativas relacionadas al manejo. Solo una pequeña fracción de residuos peligrosos se envía externamente para su tratamiento, la mayoría de estos residuos provienen del área de mantenimiento u oficinas, tales como las lámparas fluorescentes, filtros de aceite, baterías de autos, pilas, residuos de pintura y aparatos eléctricos (Baez & Trujillo, 2014).

### ***Gestión De La Calidad Y Manejo De Agua***

El manejo de agua dentro de Cerrejón se distribuye a las actividades domésticas (para consumo humano y doméstico en áreas residenciales, talleres y oficinas), industriales (usada en talleres, lavaderos de equipos y planta de emulsión, solo requiere un pretratamiento en la planta de agua sin potabilización) y mineras (de origen superficial como escorrentías y subterránea proveniente de los mantos de carbón, son almacenadas en lagunas y embalses y usadas para el control de polvo); el agua proviene de diferentes fuentes que se clasifican según su calidad en alta y baja (Baez & Trujillo, 2014).

El objetivo de la empresa es disminuir el consumo relacionado al agua de alta calidad, con el fin de preservar el recurso hídrico del departamento, y reemplazarlo con agua de baja calidad, por eso existen monitoreos del Río Ranchería, sus tributarios, aguas subterráneas, acuíferos y aguas costeras de Puerto Bolívar.

La figura 10 muestra el cuerpo hídrico que se encuentra dentro de las zonas de Cerrejón, puede evidenciarse los municipios aledaños, el lugar de los tajos y las tres zonas centrales de minería que incluyen las nuevas áreas de minería.

**Figura 10***Red hídrica Cerrejón.*

*Nota. Adaptado de Biodiversidad en Cerrejón. Carbones del Cerrejón Limited (Baez & Trujillo, 2014)*

Con respecto al programa de manejo y drenaje superficial, relacionado con el comportamiento natural de la cuenca del río Ranchería y sus tributarios en la zona de influencia de la mina el monitoreo se realiza con la medición de indicadores de uso de recurso (Caudal bombeado/caudal otorgado); indicador de calidad 1 y 2; indicador de Cumplimiento (en porcentaje de actividades ejecutadas sobre actividades planeadas); índice de calidad de agua; índice minero de calidad de agua y el indicador de impacto de parámetros individuales (diferencia de valores aguas arriba y aguas abajo dividido en el valor de la norma establecido para agua potable según Resolución 2115 de 2007) (Cerrejón, Programa de Manejo Drenaje Superficial: Río Ranchería y tributarios).

Las aguas lluvias y de escorrentía se evalúan mediante los indicadores de construcción de longitud de drenaje y el indicador de mantenimiento (Cerrejón, Programa Manejo de Aguas Lluvias y de escorrentía). Los acuíferos cuaternarios y terciarios intervenidos por las actividades mineras son monitoreados en los pozos de estudio y se miden a partir de indicadores del uso del recurso (volumen captado sobre volumen autorizado), indicador de cumplimiento e indicador de calidad (Cerrejón, Programa Manejo Acuíferos del Río Ranchería (Cuaternario) y Acuíferos Terciarios intervenidos por la operación minera). Las aguas residuales mineras (ARM) se miden a partir de indicadores de seguimiento a la calidad del agua vertida, implementación de nuevas obras de drenaje (número de obras ejecutadas sobre número de obras requeridas), implementación de sistemas de tratamiento en obras temporales, indicador de optimización e indicadores de gestión (Cerrejón, Programa Manejo de Aguas Residuales Mineras- ARM).

Dentro del Programa de Manejo de aguas residuales y desechos industriales (ARI) incluye monitoreos a las aguas de entrada y salida de los sistemas de tratamiento, son medidos con indicadores de recuperación, de reuso, venta, calidad, gestión, seguimiento a la calidad de agua vertida e indicador de eficiencia de remoción (Cerrejón, Programa Manejo Aguas

Residuales y Desechos industriales Ari). Y las aguas domésticas, donde se realizan monitoreos en el tanque de almacenamiento donde llega el alcantarillado (antes de bombear a la laguna de estabilización) y la salida de la laguna de estabilización con indicadores de producción, reutilización, mantenimiento, seguimiento a la calidad de agua vertida y calidad (Cerrejón, Programa Manejo Aguas Residuales Domésticas ARD).

### ***Gestión De La Calidad Del Aire***

La calidad el aire es uno de los aspectos más importantes dentro de la mina ya que se generan emisiones de material particulado en forma de polvo que deben ser controladas para que no presenten riesgo al ambiente y a las personas. Como sabemos, existen diferentes características relacionadas al tamaño, la naturaleza, el tiempo que dura suspendido, la forma, el tamaño, el peso, la topografía del lugar, la dirección y velocidad del viento, la humedad, temperatura y factores asociados con el clima que ayudan a monitorear estas partículas que en mayor proporción son gruesas y provienen de las vías de transporte del carbón (por eso es necesario el riego de agua industrial en las vías de acarreo con más de 30 tanqueros de 20.000 galones de capacidad y carrotanques de 10.000 galones que incluye la mezcla de aditivos químicos de control; también, los tajos poseen aspersores que permiten humectar la zona, sistemas supresores y colectores de polvo y 18 redes de monitoreo de material particulado suspendido total y PM10) (Baez & Trujillo, 2014).

Actualmente, por medio de modelos matemáticos de dispersión que permiten predecir las concentraciones de las partículas cuando están suspendidas en el aire, para determinar planes de control para mitigar este efecto y que permitan cumplir la normativa legal vigente (Cerrejón, Programa Manejo de Emisiones Atmosféricas: Material Particulado y Ruido).

El proceso de verificación del monitoreo se realiza garantizando el cumplimiento de la normativa referente a emisiones de contaminantes atmosféricos a partir del desarrollo de un modelo de dispersión del material particulado a la atmósfera, evaluando de manera periódica el efecto de la calidad del aire en la operación. Como indicador del manejo de calidad de aire se establece el indicador de aporte de la actividad minera (IAM, calculado para cada estación de viento abajo para PM10 y partículas suspendidas totales en microgramos por metro cúbico) con la resta de dos parámetros que son: Concentración de viento arriba de la actividad minera (CVAR, concentración promedio anual en la estación Sol y Sombra) y Concentración de viento debajo de la actividad minera (CVAB, concentración promedio anual en las estaciones Provincial, Las Casitas, Papayal y Barrancas) (Cerrejón, Programa Manejo de Emisiones Atmosféricas: Material Particulado y Ruido). También incluye los indicadores de calidad de aire con respecto a la legislación aplicable anual (ICA) donde se resta el valor obtenido en las estaciones de Cerrejón con la concentración máxima permisible según la legislación vigente; el indicador de calidad de aire respecto a la legislación aplicable 24h (ICA24) y posteriormente se clasifica el impacto según el rango de valor obteniendo un nivel de calidad de aire según la norma. Adicionalmente, se establece un indicador para manejo de ruido en periodo diurno y nocturno calificando las zonas como tranquilidad y ruido moderado o ruido intermedio restringido (Cerrejón, Programa Manejo de Emisiones Atmosféricas: Material Particulado y Ruido).

### Metodología

Se establecen las siguientes actividades acorde a los objetivos específicos planteados:

1. Realizar seguimiento y monitoreo a los procesos ambientales del área operativa que se estén llevando a cabo mediante reportes y visitas periódicas.
  - Realizar visitas dentro de las diferentes zonas de la mina según áreas de influencia, esto incluye registro fotográfico y análisis.
  - Realizar informes que permitan evaluar y tomar decisiones asertivas en los procesos ambientales ejecutados dentro de la empresa.
  
2. Garantizar la gestión integral de los residuos desde su generación hasta la disposición final con aprovechamientos.
  - Realizar un diagnóstico preliminar de los residuos generados por áreas de influencia en la mina.
  - Establecer mecanismos de prevención y aprovechamiento de residuos con el fin de disminuir el impacto para el medio ambiente ejecutando una gestión sostenible.
  
3. Monitorear la calidad del recurso hídrico y el cumplimiento de los parámetros ambientales definidos por la normativa legal vigente.
  - Analizar el comportamiento de los datos enviados por la red de monitoreo, dentro del río rancharía y sus arroyos en su paso dentro de la empresa, identificando aportes significativos.
  - Desarrollar una tipología gráfica que permita ver gráficamente el comportamiento hídrico con el fin de generar líneas de acción y control, si es el caso.

Teniendo en cuenta el punto anterior referente a la descripción de actividades con base en los objetivos específicos y cómo se desarrollaron se realiza la siguiente metodología a modo resumen y a nivel general. La práctica empresarial inició por el diagnóstico inicial de la empresa e identificación de problemas, se desarrolló a través de la alternancia, el trabajo en oficina incluye las visitas a campo (cuando sean requeridas), revisión de procedimientos, seguimiento y monitoreo a los procesos ambientales y la participación en eventos ambientales planeados por el departamento de gestión ambiental.

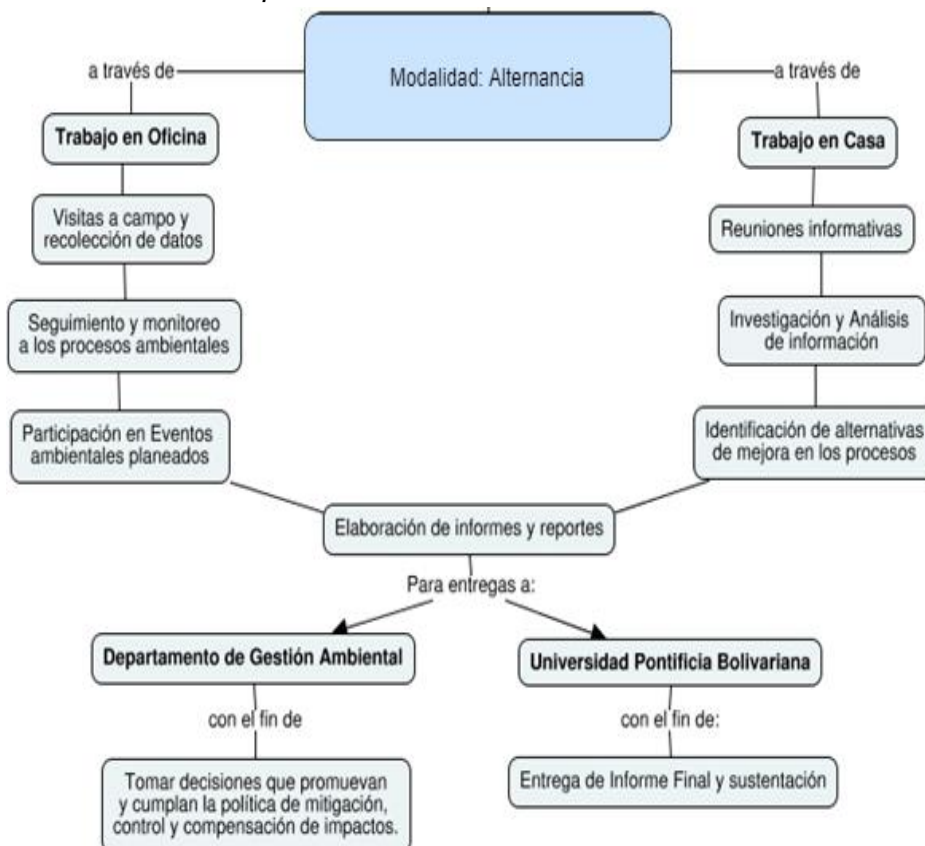
Para el trabajo en casa se ejecutan las actividades relacionadas a la asistencia a reuniones corporativas (por motivo del Covid-19 se busca el mayor distanciamiento social y menor aforo de personas), la recolección y análisis de la información a partir de las carpetas privadas relacionadas al departamento ambiental y la identificación de alternativas de mejora de las acciones visualizadas en campo.

En ambas modalidades se realizaron informes, reportes y documentos según sean necesarios con el fin de cumplir el Plan de Manejo Ambiental y monitorear las actividades que se estén desarrollando, así como la elaboración de informes de avance para el cumplimiento de la práctica empresarial con motivo de requisito de grado, ver figura 11. Los informes en el departamento de Gestión ambiental se entregan con el fin de tomar

decisiones que promuevan y cumplan las políticas de mitigación, control y compensación de los impactos generados en temas ambientales y sociales; el fin de elaborar avances a la Universidad Pontificia Bolivariana es la entrega del informe final y la sustentación de la práctica como requisito del título profesional.

**Figura 11**

*Desarrollo De La Práctica Empresarial*



*Nota. Esquema general del desarrollo de la práctica en modalidad alternancia.*

## Resultados y Discusión De La Práctica

Para desarrollar el objetivo general, se establecen tres objetivos específicos como resultado de la práctica.

### Seguimientos Y Monitoreo A Los Procesos Ambientales Del Área Operativa

#### *Global Big Day*

Dentro de los procesos ambientales se encuentra la participación del Global Big Day donde se realiza reconocimiento de la biodiversidad (especialmente aves) dentro de Cerrejón, a través de fotografías y sonidos se pudieron caracterizar más de 200 especies dentro del avistamiento como aves y babillas, ver figura 12, así como un recorrido por zonas de minería rehabilitada.

#### Figura 12

*Algunas de las especies encontradas en el Global Big Day*



Un ejemplo de área rehabilitada visitada durante este día es el embalse El Muerto, ver figura 13, una zona de minería que hoy en día es un ecosistema, hábitat de muchas especies.

#### Figura 13

*Embalse El Muerto*



#### **Rehabilitación de tierras: Adecuación**

El proceso de rehabilitación de tierras inicia desde la entrega de los botaderos de estéril, estos deben modificarse en la fase de adecuación con el fin de cumplir los parámetros base para la rehabilitación de tierras. Los botaderos, que poseen material estéril, tienen dos opciones, que sean planicie-corredor o que sean talud-inclinados, según su tipo tiene diferentes requerimientos. En el proceso de adecuación hay 4 etapas principales, esto puede visualizarse en la figura 14, el Reconocimiento del terreno donde se evalúa el estado de la entrega del botadero y sus características; la configuración, que son los procesos de adecuación del

terreno para la rehabilitación, por ejemplo, el corte de hombro en taludes: el descargue y esparcimiento de suelo y finalmente las obras complementarias.

### Figura 14

#### *Etapas Principales de la Adecuación de Tierras*



Para los taludes es necesario realizar una modificación (taluceo) con el fin que tengan de altura 20 metros y que su pendiente sea 3:1, debe realizarse una topografía de verificación, para que los bueyes puedan arar la tierra; este proceso se hace con animales ya que con equipos mecánicos es más complicado, además, puede haber riesgo para los operadores por el agarre del material a la máquina. Deben realizarse obras complementarias que incluyen bermas de seguridad.

Semanalmente se realizan visitas a los botaderos que son entregados para rehabilitación por el departamento de Producción, así como al proceso que tiene cada uno de ellos, se asigna una calificación en porcentaje según los trabajos que se hallan realizado, esta calificación posee diferentes pesos en los ítems que influyen en la terminación de la actividad, por ejemplo, la roturación o configuración de terrenos, descargue y esparcimiento del suelo, obras complementarias. La calificación es importante porque permite realizar un informe para ver el avance, el cumplimiento según las metas y los problemas que se presentan para tomar decisiones asertivas en la ejecución. Con relación al suelo que se utiliza para este proceso, debe aclararse que es conservado desde su origen y se encuentra almacenado en bancos de suelo.

Cuando el área está lista termina la adecuación de tierras y se continúa con la rehabilitación, sigue el proceso de arado (taludes con bueyes y corredor con motoniveladora) para la siembra de semillas de pasto que fortalecerá el suelo y lo preparará durante unos años para la siembra de árboles en temporada de lluvia. Se incluye algunas imágenes del proceso, las fotos fueron tomadas en diversos lugares y con diferentes secuencias de tiempo para lograr capturar el proceso de rehabilitación.

La figura 15 evidencia fotográficamente el proceso dentro de adecuación dentro de la rehabilitación de tierras.

**Figura 15**

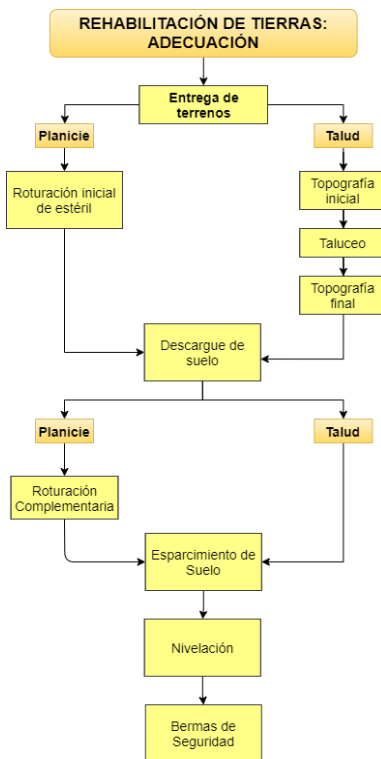
*Proceso de adecuación: rehabilitación de tierras*



A modo de resumen, se incluye la figura 16 con las etapas del proceso de adecuación de tierras dentro de la rehabilitación de áreas de minería.

**Figura 16**

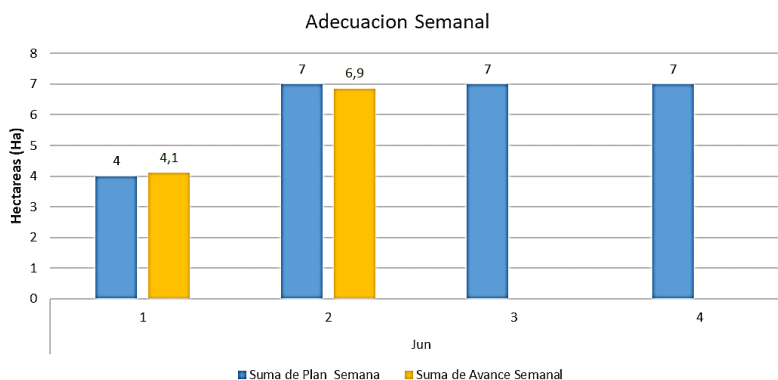
*Proceso de adecuación de tierras*



Con las visitas semanales se genera una gráfica del proceso de adecuación, ver figura 17, se compara el porcentaje ejecutado de la semana en los terrenos VS el porcentaje programado semanal, esto con el fin de cumplir la meta de hectáreas anuales rehabilitadas. Las barras se agrupan de acuerdo a las semanas del mes, en este caso 4.

**Figura 17**

*Informe Semanal Porcentaje de Adecuación*



### **Gestión Integral De Los Residuos Desde Su Generación Hasta La Disposición Final con Aprovechamientos.**

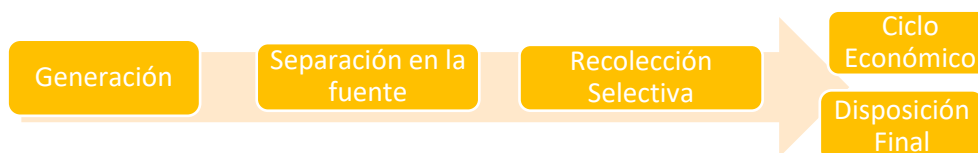
Las características de los residuos respecto a su generación, composición y densidad son un parámetro importante dentro de la gestión integral, de ahí que conocerlos permita diseñar sistemas de recolección, transporte, disposición final y aprovechamiento con sostenibilidad, cumpliendo las normativas y mitigando el impacto realizado al ambiente por causa de una mala separación en la fuente, manejo inadecuado y contaminación de residuos aprovechables.

En la jerarquía de la gestión de residuos se busca una manera de prevenir y minimizar la generación, por eso es importante conocer las materias primas y los procesos que los generan, también es importante aprovechar y valorizar los residuos, pues hoy en día existen muchas alternativas de economía circular que permiten en muchos casos el reintegro al ciclo de vida para la fabricación de otros productos obteniendo ganancias económicas adicionales. Cuando no pueden aprovecharse, debe realizarse un tratamiento que termina en la disposición final de cada uno de los residuos, de esta manera, hay un menor impacto y mayor contribución tanto al ambiente como a la sociedad.

Los elementos funcionales, ver figura 18, de la gestión de residuos comienzan desde su generación, luego deben separarse correctamente en la fuente para luego realizar su recolección según el tipo de residuos (aprovechables y no aprovechables), cuando los residuos son aprovechables se busca generar un valor mediante la incorporación de un ciclo económico, los residuos no aprovechables deben comenzar su proceso de disposición final.

**Figura 18**

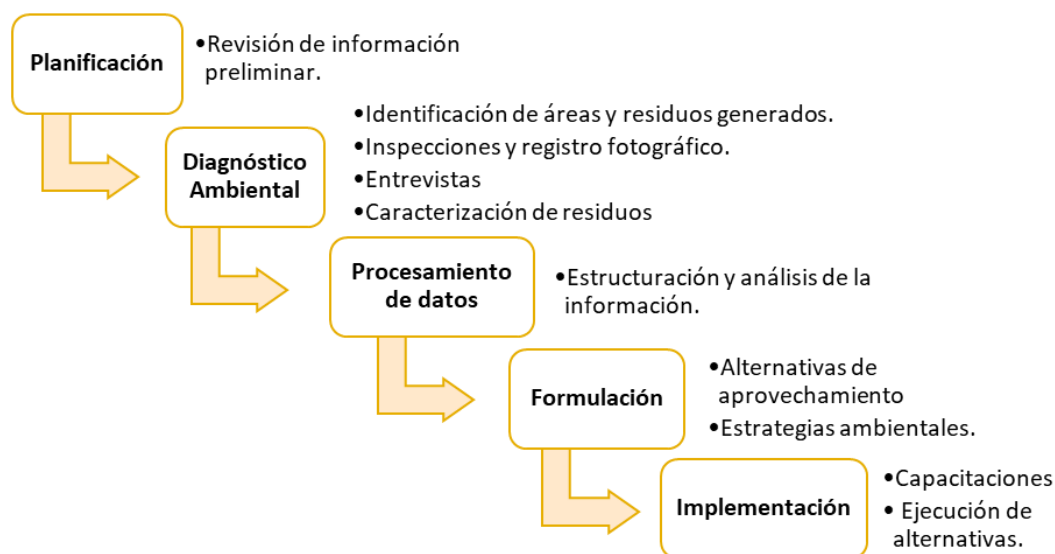
*Elementos funcionales de la gestión de residuos*



La figura 19 muestra la metodología relacionada con el proceso que se va a realizar para la toma de datos, por esto es importante primero identificar cuáles son las áreas que se van a estudiar realizando inspecciones con registro fotográfico, de esta manera se tiene una idea de la metodología que se va a llevar a cabo. Esta actividad se acompaña de entrevistas con la comunidad involucrada para conocer el proceso que lleva a la utilización de materias primas y finalmente la disposición de los residuos, además, entender cuál es el manejo del residuo y su tratamiento y saber qué tanto saben las personas sobre esta problemática que incluye generación, separación, almacenamiento, recolección, transporte y tratamiento final.

**Figura 19**

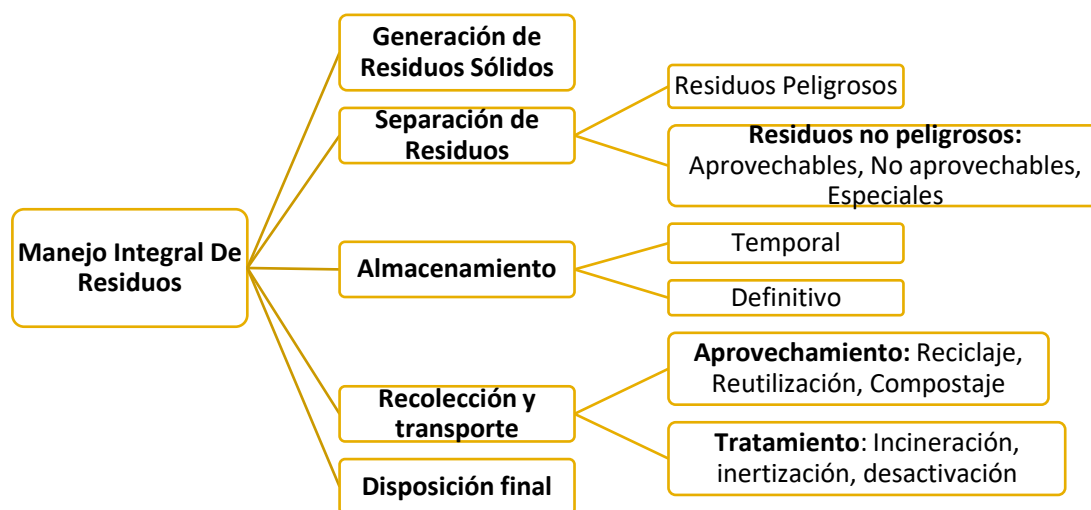
*Metodología Gestión Integral de Residuos*



En el manejo integral de residuos sólidos, como se evidencia en la figura 20, existe gran importancia en la separación ya que como se evidencia, muchos materiales que pueden ser aprovechables terminan siendo pérdidas económicas por su contaminación en la fuente ya que impide su reincorporación en una economía circular que permita su reutilización. El tiempo de almacenamiento es otro factor importante pues según sus características de degradación y disposición pueden estar de manera definitiva, además generando volumen en las celdas y aumentando los costos relacionados a su tratamiento.

Figura 20

Manejo integral de Residuos

**Diagnóstico Inicial**

Se realizó un análisis, ver tabla 1, del manejo de residuos y lo que debería encontrarse según las actividades y población que permanece en las áreas a estudiar. En primera medida, se analizó el sistema de recolección y transporte según el tipo de residuo generado.

Tabla 1

Sistema de Recolección y Transporte

ÁREA	RESIDUO GENERADO	SISTEMA DE RECOLECCIÓN	SISTEMA DE TRANSPORTE
Campamento	Recipientes de Shampoo, botellas PET, restos de comida, residuos sanitarios, pilas, cartón, bombillos, cepillos, enlatados, vidrio, papel, residuos orgánicos, residuos biosanitarios. Residuos de vivienda	Los residuos generados en esta área son llevados a un almacenamiento temporal para su posterior recolección.	Vehículos manuales operados por la empresa prestadora del servicio, InterAseo. El papel es recogido por equipos Hiunday para su recuperación.
Administrativo	Papel, plástico, cartón, envases de productos de aseo, bombillos, lámparas, desechables, residuos	Los residuos ordinarios son recogidos y enviados al relleno sanitario para su disposición	Vehículos operados por la empresa prestadora de servicio, InterAseo.

ÁREA	RESIDUO GENERADO	SISTEMA DE RECOLECCIÓN	SISTEMA DE TRANSPORTE
	biosanitarios, empaques, vidrio, residuos de comida.	final. Algunos son almacenados temporalmente.	
Talleres	Embalajes de productos usados, Telas y Elementos de Protección personal contaminados con sustancias químicas, chatarra, madera, plástico, PVC, cartón, recipientes de pintura, aerosoles, llantas, baterías.	En el área de talleres existe un sitio de almacenamiento temporal, sin embargo, todos los días se hace recolección de este material ya que se genera en grandes cantidades diarias.	Los residuos ordinarios son recolectados por la empresa prestadora de Servicio InterAseo. Los escombros y chatarras se recogen en el equipo 270 y los residuos peligrosos con el equipo 78-353. Las virutas, filtros de aire, caucho y mascarillas son recogidas con los equipos 78-414.
Centro Médico	Residuos biosanitarios, cortopunzantes, farmacéuticos, jeringas, papel, bombillos.	Se almacenan en bolsas rojas y se recoge cuando llena su capacidad.	Vehículos operados por la empresa prestadora de servicio en el vehículo 78-414.

Los puntos de almacenamiento permiten identificar dónde se generan más residuos y de qué clase según la cantidad y tipo de canecas por zona, por eso es importante identificar su capacidad, los colores (recolección específica de residuos) y ubicación.

Actualmente existen 11 tipos de recolección de residuos que en cantidad se encuentran distribuidas para su uso dentro de la empresa de la siguiente manera: Canecas ordinarias (741), peligrosos (265), mascarillas (68), aerosoles (29), baterías (29), plásticas (33), orgánicos (11), aprovechables (80), contenedores de cartón y papel (22), ecobotellas (24), estación de podas (15) y cernidores de aserrín (15). En total, incluyendo las canecas del stock, hay aproximadamente 1500 canecas que permiten recolectar los residuos de forma temporal. Conocer este tipo de recipientes, su ubicación y cantidad, nos permite identificar en qué áreas existe mayor generación y por lo tanto requiere más almacenamiento, también podemos evidenciar el tipo de residuos que es generado por zonas. Por ejemplo, según los datos obtenidos internamente por Sointer Ltda, en el área industrial, específicamente talleres permanentes existen 47 canecas de residuos peligrosos siendo el lugar de mayor cantidad seguido por el área de reconstrucción donde existen 38 canecas de residuos peligrosos.

Por su parte, la mayor cantidad de canecas de residuos ordinarios está en talleres permanentes (49) seguido por reconstrucción (41), esto también indica que en estos lugares existe un mayor número de personas que aportan mayor generación de residuos.

Se aclara que, en la tabla 2, aunque no se representa la totalidad de recipientes, se escogen los más representativos que se encuentran en el área. Con respecto al punto ecológico 2 es frecuente dentro de los talleres, se evidencia la zona demarcada y aseada, las canecas en buen estado, limpias y rotuladas.

En talleres debe existir en cada punto los diferentes contenedores relacionados a la separación de residuos interna, por eso se encuentran canecas de aerosoles y de Residuos Covid, en algunas zonas se encuentran canecas para el depósito y aprovechamiento de discos de corte, así como piezas y componentes metálicos.

**Tabla 2**

*Descripción de puntos de almacenamiento (Canecas)*

Tipo	Foto	Código de colores	Rotulado	Área generadora
Punto ecológico		Verde, amarillo	Verde: Reciclable Amarillo: No reciclables	Áreas de circulación (pasillo, zonas comunes)
Punto ecológico 2		Verde, amarillo, Rojo	Verde: Reciclable y Cartón Amarillo: No reciclables Rojo: Peligrosos	Talleres
Caneca Aerosoles		Gris	Aerosoles	Talleres

Tipo	Foto	Código de colores	Rotulado	Área generadora
Caneca Residuos Peligrosos y de Almacenamiento de Cartón.		Roja y Verde	Residuos Peligrosos y Cartón	Centro Médico, talleres.
Caneca Residuos Biológicos		Roja	Mascarillas Covid	Toda la empresa: Talleres, Administrativos, centro médico, comedor.
Recolección de botellas		Verde	Botellas y tapas plásticas	Administrativos, comedores.
Residuos Ordinarios		Amarilla	Residuos Ordinarios	En toda la mina: Talleres, administrativos, comedor, etc.
Residuos peligrosos		Roja	Baterías, pilas,	Talleres

Actualmente existe un sistema de aprovechamiento y disposición final, ver tabla 3, relacionados a los gestores involucrados, generando valor económico y reincorporación de algunos residuos a los ciclos productivos a través de la separación y adaptación, como ocurre con los filtros que deben ser cortados. Cuando el residuo definitivamente no es aprovechable debe asegurarse un tratamiento que permita una disposición final óptima.

**Tabla 3**

*Disposición final de residuos*

Residuos	Gestión	Gestor
Orgánicos	Disposición Final	Sointer
Residuos de Comida	Compostaje	Sointer

<b>Residuos</b>	<b>Gestión</b>	<b>Gestor</b>
Ordinarios e inertes	Disposición Final Relleno Sanitario	InterAseo- Relleno sanitario Fonseca
Papel y Cartón	Valorización	Fundación Rotaria Manos solidarias
Plástico		
Vidrios		
Caucho		
Chatarra	Valorización	Fundación Rotaria Manos Solidarias, CGR, Excedentes
Aceites Usados	Valorización	Terpel
Llantas-Caucho	Valorización	Venta de Caucho recuperado de las llantas
Aserrín contaminado	Tratamiento	Sointer
Objetos Contaminados con sustancias químicas	Disposición Final	TecniAmsa
Tubos fluorescentes		
Residuos Hospitalarios	Disposición Final	TecniAmsa (incineración)
Residuos Covid		
Medicamentos Vencidos		
EPP y dotación contaminada		
Aparatos Electrónicos y eléctricos RAEE	Valorización	Subasta
Pilas Usadas	Programa de Post-consumo	Empresas Generadoras

La clasificación de residuos varía según el área de generación e influye la conciencia ambiental para su clasificación en la fuente. Se evidencia mala separación de residuos principalmente orgánicos con ordinarios, es decir, residuos de comida y sus respectivos empaques.

Existen recursos económicos e infraestructura que permite el almacenamiento de residuos sólidos, sin embargo, gran cantidad de residuos sólidos orgánicos se combinan con residuos aprovechables, esto se acompaña a la poca cultura de separación por parte de los empleados y comunidad presente dentro de la empresa. Además, existe falta de personal que controle las actividades y mecanismos que se definen en el PGIRS.

Se realizó una visita de inspección dentro de las instalaciones de almacenamiento de residuos en la mina, esto permite observar el tipo, cantidad y estado de los residuos, en los lugares incluyen la compostera, celdas de residuos peligrosos, aserrín contaminado, residuos de mangueras, podas, electrónicos, madera y demás se encuentran en el nivel 140, esto incluye las piscinas de lodos aceitosos. A continuación, se presenta un resumen de las visitas:

**Compostera.** La compostera recibe los residuos ordinarios de comida, en mayor proporción se recogen del M1 y del CPA que son las cafeterías más grandes dentro de la empresa que preparan los alimentos para la población. Son dos hileras, ver figura 21, a cielo abierto de forma rectangular, en el fondo tienen una tela impermeable que evita que los lixiviados se rieguen y contaminen el suelo, además, genera olores y trae vectores de animales, dentro de la compostera se realizan volteos con palas para airear y acelerar el proceso de descomposición sin permitir su putrefacción.

### Figura 21

*Hileras de compostaje*



*Nota. Hilera vacía (izquierda) e hilera con residuos tapada (derecha) donde se realiza el compostaje*

Las hileras son cubiertas con una bolsa plástica para evitar que los animales coman y alteren el proceso, cuando el proceso está listo, la figura 22 evidencia el lugar donde se almacena el compost, un área cercada y con techo, mientras es distribuido en zonas comunes y en algunos casos en áreas de rehabilitación.

### Figura 22

*Almacenamiento final del compostaje*



En esta zona se lleva un registro por parte de la Fundación Rotaria Manos Solidarias sobre la fecha, la cantidad de material recibido (aproximadamente 500 a 1000 kg diario) y el material usado para este proceso ya que se descarta el material que no es apto y viene mezclado con estos residuos.

Existe un tanque de almacenamiento de los lixiviados, ver figura 23, que salen de la compostera que permite que los líquidos no se viertan directamente y contaminen el recurso suelo y agua, cuando está lleno un equipo es encargado de vaciarlo. Como puede verse en la imagen, hay un tanque de reemplazo para cuando sea necesario.

### Figura 23

*Almacenamiento de lixiviados de la compostera*



La zona también cuenta con un área completamente enmallada como lo muestra la figura 24, donde se rompen las bolsas para separar y verificar que los residuos que van a distribuirse en las hileras sean 100% orgánicos y no halla afectación del compost generado.

### Figura 24

*Zona de Separación del Material a Compostar*



*Nota.* Área enmallada donde se hace la separación de residuos (izquierda). Compostaje separado y mezclado listo para depositarse en las hileras (derecha)

**Madera.** La madera es un material biodegradable, natural y vegetal proveniente de los árboles, necesita muy poca energía para transformarse, es excelente aislante térmico y protege los objetos, por esta razón es usada para transportar piezas mecánicas y fabricar diferentes objetos dentro de la industria. Su tiempo de degradación es relativamente corto comparado con otros materiales, su descomposición es estimada entre 2 y 3 años en su estado natural, y hasta los 15 años si se encuentra pintada o posee algún tratamiento. La figura 25 evidencia el lugar de almacenamiento de la madera.

## Figura 25

### *Almacenamiento de madera residual*



Dentro del nivel 140 existe un área destinada para el depósito de este material, aunque en algunas ocasiones la madera es reutilizada al encontrarse en buen estado, la mayor parte de madera que se encuentra almacenada posee un mal tratamiento y se encuentra contaminada con hidrocarburos o residuos peligrosos lo cual hace que pierda su utilidad. Gran parte de esta madera proviene de la protección de piezas mecánicas durante el proceso de transporte, también como base donde vienen enrollados cables, sin embargo, en el área de talleres al manipular diversos hidrocarburos y aceites y presentarse una mala disposición y gestión es contaminada perdiendo su proceso de aprovechamiento, la figura 26 evidencia algunos tipos de madera encontrados.

## Figura 26

### *Diferentes tipos de madera residual*



*Nota.* La madera proviene de rollos de cable y principalmente cajas de transporte de piezas que al ser contaminadas con grasa u otra sustancia no permite su aprovechamiento.

Finalmente, dentro del espacio destinado, pasa un tractor para disminuir su tamaño y compactar los trozos de madera, ver figura 27, puede evidenciarse por el color que posee cuánto tiempo lleva la madera y su descomposición al aire libre.

## Figura 27

### *Compactación de la madera*



**Mangueras.** Las mangueras provienen de las áreas de talleres y mantenimientos de equipos mineros pesados, estas mangueras hidráulicas se localizan en los vehículos para transportar aceites y emulsiones de agua y aceite, aunque son muy flexibles tienen en sus extremos metal lo que las hace bastante pesadas. Las mangueras se pueden ver en la figura 28.

### Figura 28

*Almacenamiento de Mangueras residuales*



Su estructura está formada por un tubo interno compatible al material que conduce, posee un refuerzo que resiste la presión y una cubierta que lo protege de la intemperie, productos químicos o abrasión, son fabricadas en caucho sintético de gran resistencia y permiten el movimiento de la flota al transmitir la potencia en los diferentes trabajos que realizan.

Actualmente, las mangueras se ubican dentro del nivel 140 a la intemperie y el cielo abierto, se almacenan una sobre otra a pesar que puede recuperarse tanto la parte de su caucho como la parte extrema del metal. Se tiene dispuesto un equipo que las traslada a otras empresas externas de aprovechamiento, pero es difícil su manipulación ya que son bastante pesadas y al ser flexibles se vuelve complejo. Una parte de las mangueras se encuentra sobre el geotextil y otras sobre el suelo natural, por su forma estas mangueras podrían causar accidentes y sirven de escondite para algunos animales.

**Celda de Residuos Peligrosos.** Esta celda está recubierta con dos geotextiles como medida de prevención ante la contaminación del suelo con residuos peligrosos, estos residuos se identifican con bolsas rojas. Además, sobre los geotextiles, que se encuentran puestos uno sobre otro, se colocan llantas usadas para mitigar que algún objeto cortopunzante pueda romper la bolsa y a su vez romper el geotextil. La figura 29 es una fotografía de la celda de residuos peligrosos.

### Figura 29

*Celda de Residuos Peligrosos*



Las bolsas se depositan sin ningún orden, tampoco hay un control sobre qué objetos son depositados dentro de ellas, pero si se conoce de dónde vienen (División médica, talleres, laboratorios). Al momento de la inspección se encuentran algunas bolsas rotas con residuos depositados sobre el geotextil, esto se debe a que personas del sector han intentado robarse el geotextil cortando e incluso incendiando este protector, lo cual ocasiona que se desacomoden y se exponga el área a un incidente ambiental, por esta razón alrededor se encuentra una serpiente como medida de protección.

Se puede visualizar que la mayoría de bolsas rojas se encuentran manchadas de color negro y no se encuentran bien selladas, en estas bolsas hay guantes, estopas y trajes contaminados, así como algunos productos químicos que se depositan en los talleres e incluso residuos de diferentes tipos debido a la mala separación en la fuente de generación. Dentro de la celda de residuos peligrosos hay depósito de otros materiales como canecas, cartón, alambre, tubos, latas, trapos, guantes, cables, etc. El lugar se encuentra muy cercano al almacenamiento de mangueras, ver figura 30.

### Figura 30

*Residuos dentro de la Celda de Respel.*



**Aserrín contaminado.** El aserrín es un material que se desprende de la madera, su composición depende de la fase en que se extraiga y del secado del producto que varía su contenido de humedad, densidad, valor calórico y componentes de Carbono, Hidrógeno, Nitrógeno y Oxígeno. El aserrín, ver figura 31, se considera altamente contaminante para el medio ambiente especialmente en el suelo y el agua, además que genera polvo (emisiones de Dióxido de Carbono), perjudica la salud de los trabajadores y posee problemas por incendios y autocombustión, propagación de hongos, plagas y enfermedades.

### Figura 31

*Aserrín contaminado*



El aserrín es usado en la zona de talleres y mantenimiento como medio de absorción de sustancias peligrosas ante derrames de hidrocarburos, aceites o grasas. El modo de uso es colocar un poco de aserrín sobre la mancha y luego llevar este aserrín a una tolva donde se escurra dejándolo con la menor proporción de impregnación. Luego de su secado, el aserrín se lleva al nivel 140 donde es cribado en una malla, ver figura 32, para separar los sólidos de mayor tamaño, es importante que el proceso solo se realice con el aserrín, posteriormente se vierte en el suelo y se agregan 2 reactivos uno es utilizado para el crecimiento bacteriano y el segundo es para acelerar el proceso de eliminación y degradación de hidrocarburos.

### Figura 32

*Cribado Aserrín contaminado*



En la misma área de tamizaje existe una caneca roja para almacenar los residuos desechados ya que están contaminados con materiales peligrosos, se evidencia que se descarta gran parte del material que llega para el tratamiento de aserrín contaminado. En la figura 33 se evidencia que dentro del material desechado hay trapos, servilletas, guantes, madera, tapabocas, envases, entre otros, lo cual refiere que no hay buena disposición en la fuente de este material y que se debe hacer un trabajo adicional (cribado) para poderse tratar.

### Figura 33

*Residuos de Desecho que vienen con el aserrín contaminado*



Al aserrín se le realizan estudios sobre la cantidad de bacterias que se generan y el funcionamiento de los reactivos para la remoción de estas sustancias peligrosas, se aclara que como está a cielo abierto es des considerable la cantidad de aserrín que es arrastrado por el aire. También, que existen diferentes hileras según el proceso y tiempo de degradación donde se encuentre el aserrín. La figura 34 muestra el proceso de mezcla del aserrín.

### Figura 34

*Mezcla del aserrín contaminado con los reactivos*



La figura 35 indica cómo se realiza la toma de las muestras, esta se realizó el primer día que se aplicó el reactivo, esta muestra se realiza junto con el personal encargado de enviarla a laboratorio. Debe mezclarse muy bien el aserrín y luego llenar 2 frascos y 2 bolsas Ziplock con el producto mezclado.

### Figura 35

*Recolección de muestras*



**Piscina de Grasas y Lodos Aceitosos.** La piscina de Grasas y lodos aceitosos se encuentran dentro del nivel 140, allí se almacenan las grasas recolectadas por el equipo “Dragón” de los talleres de mantenimiento, lavaderos y cocinas. Dentro de ella funciona un Skimmer que es un equipo usado para recolectar o eliminar el aceite, grasas e hidrocarburos de la superficie del agua, en su funcionamiento el aceite se adhiere a la superficie lisa exterior de la cinta colectora para recoger la sustancia peligrosa. Este aceite es vendido a empresas externas que se encargan de su tratamiento para su reutilización, incluso es usado para la preparación de emulsión, de esta manera también disminuye el volumen de la piscina permitiendo almacenar más. En la figura 36 se observa la piscina de grasas y lodos aceitosos.

### Figura 36

*Piscina de Grasas y Lodos Aceitosos*



Algo similar sucede con los lodos aceitosos, anteriormente poseía una piscina adicional, en caso de rebose, que tenía partes del geotextil rotos, en mal estado y los residuos acumulados, en la actualidad se realiza un mantenimiento, ver figura 37, para hacer 2 vertederos adicionales y cambiar el geotextil.

### Figura 37

*Estado y Mantenimiento de la piscina de lodos aceitosos*



Al momento de hacer el mantenimiento se evidenció que efectivamente el geotextil estaba dañado y debía cambiarse, además, se evidencia gran acumulación de lodos residuales en el fondo.

**Podas.** Los residuos de podas como chamizos y árboles provienen del mantenimiento de las áreas comunes y de la deforestación necesaria para la ejecución de obras dentro de la empresa, este material biodegradable tarda en descomponerse máximo 3 años, sin embargo, este material también es usado en procesos de rehabilitación de suelos. Se encuentra al aire libre en el nivel 140. La figura 38 muestra la zona donde se depositan los residuos de poda para su descomposición, como puede evidenciarse es un lugar a cielo abierto.

### Figura 38

*Residuos de Podas*



**Chatarra.** Algunos residuos como chatarra, RAEEs, plástico, entre otros, se depositan dentro del nivel 140. En general son residuos varios mezclados que poseen un ciclo de vida bastante largo e incluso con periodos de descomposición extensos e infinitos. Aunque la empresa dispone con sus respectivos programas de aprovechamiento a veces se generan estas acumulaciones mientras se selecciona el lugar a donde pertenecen.

### **Otras Zonas de Disposición y Aprovechamiento de Residuos**

Dentro de la empresa existían diferentes lugares de tratamiento final como el horno incinerador y equipos que distinguían los componentes de los metales para separar la chatarra, estos lugares fueron cerrados por sus elevados costos y porque para su mantenimiento requería trabajos difíciles. Sin embargo, se inspeccionaron 2 zonas de tratamiento final que pertenecen al proceso de recuperación de llantas y a los filtros de aire.

**Recuperación de Llantas.** Una llanta minera puede llegar a medir 4 metros de alto, 5 metros de ancho y pesar 3 toneladas cuando está sin aire, su vida útil en mina puede llegar a unas 4000 horas por llanta a modo de promedio dentro de la empresa, ver figura 39.

#### **Figura 39**

*Llantas para Aprovechamiento*



La zona de recuperación de llantas se realiza a cielo abierto, las llantas de los diferentes equipos mineros, especialmente los de cargue de carbón que son las más grandes, se encuentran ubicadas a la intemperie lo cual causa afectación del paisaje e incluso un incumplimiento de la Resolución 1326 de 2017 que prohíbe acumular llantas usadas a cielo abierto y además enterrarlas como método de disposición final, ver figura 40.

#### **Figura 40**

*Llantas para Aprovechamiento a Cielo Abierto*



La figura 41 indica los materiales del proceso de aprovechamiento manual con herramientas convencionales, un tubo para hacer palanca, una lámina cortadora para recuperar el caucho de las llantas mineras.

### Figura 41

*Elementos utilizados para el aprovechamiento de llantas*



Este proceso se realiza diente por diente haciendo cortes diagonales, ver figura 42, aproximadamente una llanta pesa 5 toneladas y pueden recuperarse de 2 a 3 toneladas de caucho según su estado. La llanta se va cortando capa por capa.

### Figura 42

*Recuperación de llanta capa por capa*



En su interior también posee unos alambres, figura 43, que pueden ser reciclados. La parte no recuperable de la llanta pertenece a metal que puede ser vendido como chatarra, sin embargo, al ser un proceso manual es bastante manipulado.

### Figura 43

*Alambre dentro de las llantas*



El material recuperado se organiza uno sobre otro formando filas de caucho como puede verse en la figura 44.

**Figura 44***Caucho recuperado*

**Filtros de Aire.** Los filtros de aire son elementos esenciales en los equipos ya que ayudan al funcionamiento y vida útil del motor, su función es retener las impurezas que puedan ingresar a los circuitos de admisión del motor evitando la contaminación de la cámara de combustión y el degrado de las paredes de los cilindros. Cuando no se realiza el mantenimiento se recircula un aire sucio que hace aumentar el consumo del combustible, contaminar el aceite y reducir la potencia del motor, incluso aumenta la producción de gases contaminantes. El filtro, ver figura 45, está elaborado con metal, dentro de él posee unas pequeñas membranas que retienen las impurezas. Se recomienda el reemplazo de los filtros cada 25000 kilómetros o según indique el manual de cada equipo para evitar accidentes.

**Figura 45***Filtros de Aire*

Los filtros son lavados y reutilizados hasta un total de 3 veces por mantenimiento, esto prolonga la vida útil del filtro y disminuye los costos, sin embargo, para la disposición final de filtros de aire se está realizando una celda para enterrar a futuro los filtros de aire recolectados ya que se generan en gran proporción y no se usan para aprovechamiento. Para la construcción se realiza una celda, que puede verse en la figura 46, con diversos residuos para su conformación y estabilidad como madera, plásticos, escombros, Icopor, entre otros.

**Figura 46***Nueva celda de almacenamiento de filtros de aire*

**Bodega de Reciclaje.** La bodega de reciclaje, ver figura 47, integra diversas zonas como lo son recuperación de cartón, de plástico, de papel, de filtros de aceite, de chatarra e incluso almacenamiento temporal de residuos. Cuenta con área de triturado, de insumos, área de almacenamiento (canecas en stock para recolección de residuos), cuarto frío y almacenamiento de residuos hospitalarios (Covid), geotextiles.

### Figura 47

*Bodega de Reciclaje*



**Área de Triturado y Área de Insumos.** En este espacio se encuentran insumos como luminarias fluorescentes (en sus respectivas cajas), latas, envases, etc.

**Área de Almacenamiento.** El área de almacenamiento también se refiere a una bodega de las canecas que se encuentran en Stock, bien sea porque estaban en mantenimiento o porque todavía no están colocadas. Sin embargo, actualmente este lugar está almacenando las canecas blancas, y sus tapas, correspondientes a los residuos aprovechables según el nuevo código de colores que sigue la normativa Resolución 2184 de 2019 (Blanco para los residuos aprovechables, verde para los residuos orgánicos y negro para los residuos no aprovechables). La empresa está en proceso de cambio y actualización del color de sus recipientes para el cumplimiento de la normativa, esto incluye capacitaciones a la comunidad. La figura 48 indica los colores antiguos vs los colores nuevos exigidos por normativa.

### Figura 48

*Canecas de Almacenamiento de Residuos*



*Nota.* Canecas de almacenamiento viejas (izquierda). Canecas de almacenamiento nuevas (derecha)

Alrededor de esta área se encuentran algunas canecas viejas con tapas, especialmente de color rojo relacionado a residuos peligrosos y residuos Covid (como tapabocas) que están fuera de uso esperando ser reubicadas. El área de almacenamiento se evidencia en la figura 49.

## Figura 49

### *Área de almacenamiento*



**Cuarto Frío y Almacenamiento de residuos hospitalarios.** El cuarto frío, está adaptado para mantener los residuos a bajas temperaturas y así mantenerlos controlados e higienizados evitando la propagación de bacterias, patógenos, entre otros. Por su parte, los residuos hospitalarios recogidos en el centro médico y tapabocas Covid se almacenan de manera temporal en canecas rojas mientras la empresa externa encargada de su disposición final hace su recolección.

Dentro de la bodega de reciclaje, que está a cargo de la Fundación Rotaria Manos Solidarias, también se almacenan los geotextiles, ver figura 50, que se usan para proteger el suelo de los vertimientos que pudieran ocasionarse. Además, dentro de esta área existen varios procesos para la recuperación de residuos.

## Figura 50

### *Almacenamiento de Geotextiles*



**Recuperación de Filtros de Aceite.** El aceite es un elemento que evita averías en los equipos, así como aumento de emisiones, mayor consumo de combustible y problemas del motor, por eso, su función es retener las impurezas durante el uso del lubricante. Los filtros de aceite se reemplazan de forma periódica cada vez que es necesario reemplazar el aceite lubricante, sus dimensiones oscilan entre 100 a 135 milímetros de diámetro y una altura aproximada de 260 a 310 milímetros, su peso es 680 gramos. Existen diferentes tipos como el filtro de aceite mecánico que se fabrican en su interior con celulosa plisada en forma de acordeón (algunas de 2 micras), materiales sintéticos o gasas de algodón que permiten retener los contaminantes que vienen con el aceite, y en su exterior un armazón metálico que no permite que se deforme con la presión del aceite, cuenta con un sistema de enrosque. La estructura de estos filtros se muestra en la figura 51.

## Figura 51

### Estructura filtro de aceite



*Nota.* Adaptado de *JufreOilService* (<http://jufreoilservice.blogspot.com/2011/12/filtros-de-autos.html>)

Algunos de los filtros que se encuentran pertenecen a la marca CAT (1R-075,1808,26), filtro de aceite de seguridad MTU (5241840501 Full flow) y filtros secundarios POWER GUARD (23530646) esto depende del equipo para el cual se requiera y la eficiencia solicitada, esta última relacionada al control de contaminación sin reducir la capacidad.

El proceso de recuperación comienza desde la zona donde fueron generados (talleres), el primer paso es ponerlos a “escurrir” tratando de expulsar la mayor cantidad de aceite que pueda tener en su interior, luego de esto, se llevan a la bodega de la fundación y se depositan en canecas cilíndricas metálicas para almacenarlos y posteriormente hacerles su respectivo tratamiento, ver figura 52.

## Figura 52

### Almacenamiento de filtros de aceite para recuperación



Cada filtro pasa por una máquina de corte donde se retira la parte del extremo inferior, esta parte es cilíndrica y posee en su interior una serie de particiones metálicas, el nombre del lugar donde se realiza la tarea es “Área de Corte de Filtros”, ver figura 53.

## Figura 53

### Área de corte de filtros



Luego de que los filtros son cortados se almacenan en otras canecas cilíndricas separando la parte cortada y el filtro. Hay que hacer una notación y es que tanto las canecas como los filtros poseen aceite engrasando completamente las canecas de almacenamiento, incluso, puede llegar a contaminar otros materiales o la parte exterior de los filtros depositados y derramarse en el piso provocando accidentes y contaminación.

La figura 54 muestra el almacenamiento de los filtros, como se evidencia la cantidad es muy elevada y algunos cilindros no están en las mejores condiciones, esto porque se encuentran untados de grasa, y ensucian el filtro que va a recuperarse.

### Figura 54

*Almacenamiento de filtros*



**Recuperación de Plástico.** El plástico es seleccionado por operarios de la Fundación Rotaria Manos Solidarias, ya que por la mala separación en la fuente viene mezclado con diversos tipos de residuos que incluyen cartón y papel, esto puede verse en la figura 55.

### Figura 55

*Separación de plástico*



En el proceso de recuperación de botellas plásticas, luego de haberlas seleccionado e introducido en costales, son depositadas dentro de la prensa para comprimirlas y disminuir su volumen, como se ve en la figura 56, algunos de estos elementos conservan sus tapas y etiquetas. Para evitar que sean desplazadas luego de su compactación, se colocan cartones en sus extremos y se amarran con alambre. La mayoría de estas botellas son de productos consumibles como bebidas azucaradas (gaseosa, pony malta, jugos) y agua.

### Figura 56

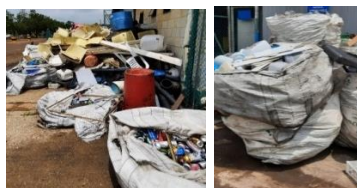
#### *Compactación de Botellas Plásticas*



En cuanto a plásticos, ver figura 57, también son prensados el grupo de envases de productos para el hogar como límpido, jabones y aromatizantes de ropa, frascos de aceite y comidas, canastas. Otros residuos son sillas y canecas plásticas, cascos, baldes y delineadores tubulares usados para señalar las vías.

### Figura 57

#### *Residuos plásticos*



De igual manera, se encuentran grandes cantidades de envases plásticos más grandes pertenecientes a aceites vegetales (Country Ranch) que incluso están contaminados con aceite de los filtros de los equipos, esto se evidencia en la figura 58.

### Figura 58

#### *Envases de aceite vegetal contaminado con aceite de vehículos*

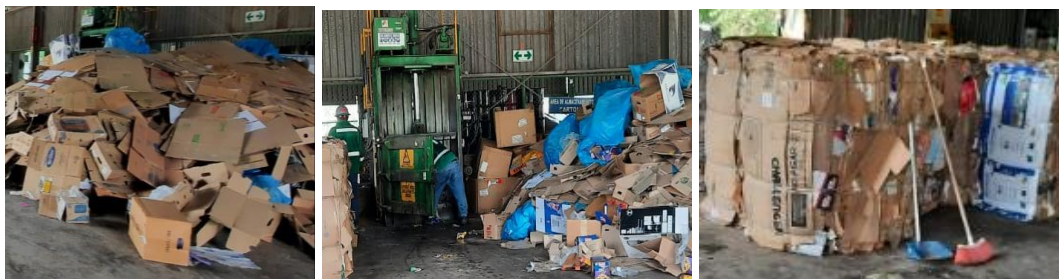


**Recuperación de Cartón y Papel.** Así como el plástico, el cartón también debe ser seleccionado para posteriormente prensarse en la máquina, algunas cajas grandes provienen de electrodomésticos como aires acondicionados, televisores, neveras; por su parte, las cajas pequeñas se generan en los centros de alimentación como empaque a productos (manzanas, maní, jugos, pastas, cervezas, galletas, salsas, carnes, productos lácteos, etc.). Estos

productos reciclables se encuentran en perfecto estado, sin contaminación, y se pliegan para reducir su tamaño. Con relación al papel es acumulado y prensado, a estos residuos aprovechables se les coloca cartón a los extremos para dar consistencia y evitar que se rieguen, se amarran y se organizan para la recolección y venta. La figura 59, indica el proceso de recuperación del cartón, se almacena, se organiza en la prensa y finalmente se amarra el material comprimido para reciclar.

**Figura 59**

*Proceso de Recuperación de Cartón*



**Recuperación de Chatarra obtenidas de cilindros metálicos.** Uno de los usos de los cilindros metálicos, ver figura 60, es almacenar los filtros de aire y aceite, asimismo, cuando cumplen su vida útil son comprimidos y vendidos como chatarra. En los alrededores de la Bodega de Reciclaje hay un almacenamiento de grandes valores de estos objetos que llegan a la compañía como envase de diversos productos y piezas.

**Figura 60**


*Cilindros metálicos*



La tabla 4 registra algunos residuos que se pueden encontrar en la Bodega de reciclaje.

**Tabla 4**

*Almacenamiento de Residuos- Bodega de Reciclaje*

Nombre	Descripción	Registro Fotográfico
<b>Tanques Plásticos</b>	Los contenedores IBC son depósitos con una de 1.000 litros, hechos para almacenar y transportar de manera cómoda y segura todo tipo de líquidos, sustancias y materiales.	

Nombre	Descripción	Registro Fotográfico
<b>Cilindros metálicos y Tapas</b>	Los bidones metálicos son recipientes herméticos utilizados para contener, transportar y almacenar líquidos (especialmente inflamables o de alta viscosidad). Su tapa posee cierre ballesta, es decir, flejes metálicos que hacen presión.	
<b>Mangueras</b>	Las mangueras hidráulicas pertenecen a los equipos medianos y livianos, compuestas de metal y caucho, transportan fluidos de forma flexible.	
<b>Cilindros plásticos</b>	Envases industriales o tambores de polietileno de alta densidad que sirven para almacenar y transportar diferentes materiales.	
<b>Residuos Excedentes</b>	Los residuos excedentes son subastados por la empresa CGR con el fin de que al ser vendidos puedan ser aprovechados para su reincorporación en la elaboración de otros materiales, un ejemplo son los computadores.	
<b>Casilleros</b>	Los casilleros metálicos almacenados dentro de la bodega están fuera de servicio por el cumplimiento de su vida útil, el metal es vendido junto a los otros residuos.	
<b>Canecas</b>	Las canecas plásticas almacenan diferentes materiales, se incluyen las relacionadas al almacenamiento de residuos con sus respectivas tapas.	
<b>Caucho</b>	El caucho que se encuentra en la bodega de reciclaje también es vendido para aprovechamiento, se encuentra cortado en tamaños más pequeños.	
<b>Papel, Cartón, Plástico</b>	Estos elementos son prensados y organizados en cubos para su aprovechamiento.	

Nombre	Descripción	Registro Fotográfico
<b>Filtros de aire pequeños</b>	Los filtros de aire pequeños pertenecientes a vehículos livianos recuperan su metal, sin embargo, muchos se contaminan al estar en contacto con contenedores engrasados.	
<b>Latas</b>	La mayoría de latas proviene del campamento y son envases de bebidas como cervezas, gaseosas y licores.	
<b>Icopor de gran tamaño</b>	El icopor (poliestireno expandido) sirve como amortiguador en procesos de transporte, especialmente de productos frágiles y como aislante térmico para conservar alimentos.	
<b>Envases de Productos Químicos</b>	En este caso, se encuentran el Antifrogen N con características tóxicas de peligros graves para la salud, se utiliza en la transferencia de calor y refrigeración por su acción congelante.	

**Zona Talleres.** Dentro del área de talleres existen subzonas relacionadas a ferrocarril, industrial, equipo liviano, permanentes y no permanentes, todo esto depende del tipo de vehículo y del mantenimiento que se vaya a ejecutar. La figura 61 indica una parte de los talleres permanentes.

**Figura 61**

*Talleres Permanentes*



Algunos residuos que se generan en esta zona pueden clasificarse como combustibles, materiales como estopas, aserrín, plástico, madera o cartón, al estar contaminados con aceite o hidrocarburos pueden ser fuente de ignición en presencia de oxígeno. Otros residuos peligrosos producidos son las baterías usadas que requieren tratamiento especial.

Para cada operación se requieren diferentes materiales y tienen como salidas diferentes residuos que incluyen cartón, madera, envases, mangueras, filtros, piezas, viruta, aserrín contaminado, grasas, aceites, etc, esto puede verse en la figura 62. Según su estado, muchos de estos materiales generan valor de aprovechamiento y recuperación.

### Figura 62

*Materias primas necesarias para realizar mantenimiento de equipos*



*Nota.* Se muestran algunos materiales necesarios para realizar el mantenimiento de equipos tales como mangueras, filtros, piezas y componentes en sus respectivas cajas de almacenamiento.

Podemos organizar el área de talleres en 5 zonas de interés:

### **Zonas de Almacenamiento**

Cada uno de los hangares cuenta con sus respectivas canecas etiquetadas, clasificadas según los colores y en buen estado para la disposición de residuos, así como en los baños, pasillos, zonas de descanso, comedor, ver figura 63.

### Figura 63

*Canecas de almacenamiento de residuos en diferentes zonas de talleres*



Otros sitios más específicos son el depósito exclusivo de chatarras dentro de los hangares y las casetas de residuos exteriores que distinguen entre filtros de aire y chatarra, ver figura 64.

### Figura 64

*Almacenamiento de residuos dentro y fuera del taller permanente*



Existen lugares específicos para los residuos, por ejemplo, en el taller de soldadura cuentan con un espacio abierto y 3 casetas de color verde, rojo y amarillo para depositar como corresponda, se evidencia en la figura 65. Cuenta con recipientes metálicos para almacenar virutas y residuos de mayor tamaño generados luego de ejecutar los respectivos mantenimientos.

### Figura 65

*Almacenamiento de residuos taller de soldadura*



En el taller de soldadura también existe un lugar para almacenar los envases de pintura vacíos, ver figura 66, estos residuos son de carácter peligroso y al manejarse en forma incorrecta afectan las personas y ecosistemas, esto es porque son tóxicos y en su mayoría son fabricados con petróleo y sustancias volátiles.

### Figura 66

*Almacenamiento de envases de pinturas*



Temporalmente se almacenan residuos mixtos como cartones, si existe un mal manejo de la separación y estado de los residuos puede afectarse los procesos de aprovechamiento, por eso en las recomendaciones de almacenamiento se debe procurar que tengan contacto con la

lluvia, el barro y la tierra. Se evidencian algunas zonas descuidadas con barro y una agrupación mixta de residuos, la figura 67 indica un derrame de grasa en el suelo producto de la mala disposición de residuos.

### Figura 67.

*Fuentes de contaminación de residuos*



Como se ve en la figura 68, en la parte exterior de los talleres existen 3 casetas de almacenamiento de residuos que son ordinarios, peligrosos y cartón. Allí deben depositarse temporalmente las bolsas mientras la ruta de recolección pasa a recogerlas.

### Figura 68

*Casetas de almacenamiento de residuos fuera de talleres permanentes.*



Se encontraron dos problemas evidenciados en la figura 69, el primero, había bolsas fuera de los contenedores sin marca o indicación de lo que contenía, esto puede traer vectores y ocasionar accidentes. Segundo, dentro de la caseta de residuos peligrosos se evidencia una mancha de aceite longitudinal infiltrada por la parte inferior, este aceite está en contacto con el suelo y puede seguirse expandiendo, una posible causa es que no hubo correcto manejo para escurrir el líquido del objeto que lo contenía o que la bolsa donde se deposita presenta una fuga.

### Figura 69

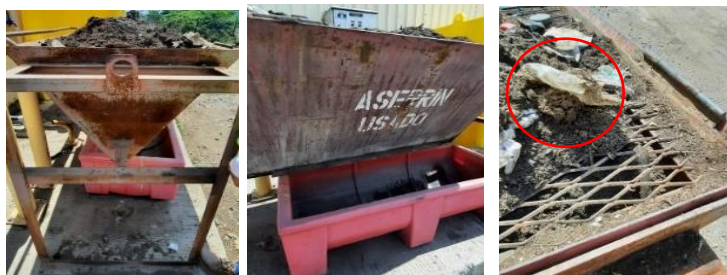
*Derrame de hidrocarburos en lugares de almacenamiento*



**Tolva Aserrín Contaminado.** El aserrín es utilizado para recoger los derrames de aceite de los equipos, luego de su uso es puesto en tolvas que permiten escurrir la mayor cantidad de aceite. Luego de que se seca, se evidencia en el aserrín una mezcla de diferentes residuos como plástico y papel, esto puede verse en la figura 70. El aserrín contaminado recibe un tratamiento para su recuperación, por eso la presencia de otros materiales puede alterar el proceso.

**Figura 70**

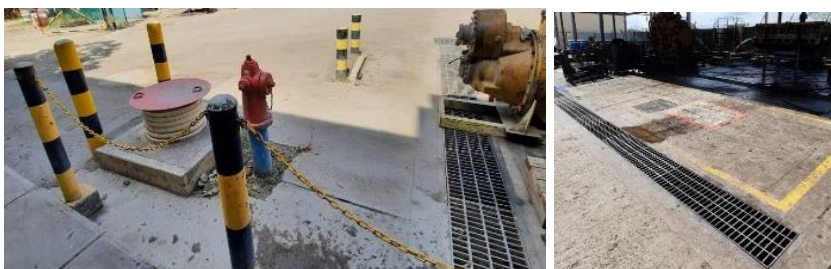
*Aserrín contaminado*



**Piscina Lodos Aceitosos.** Los lodos aceitosos son transportados por rejillas dentro de todo el taller, luego son almacenados en un tanque mientras el equipo “Dragón” los succiona y los deposita en la piscina de lodos aceitosos. La figura 71 muestra las rejillas dentro de los talleres que transportan y almacenan lodos y residuos de grasa y aceite. Se evidencia que en algunas rejillas hay acumulación de lodos que hace que no sean depositados de forma correcta, además, en caso que el sistema se colapse los lodos inundarían el taller.

**Figura 71**

*Rejillas de transporte de lodos*



El almacenamiento de lodos se realiza en un volumen de forma cuadrada con tapa, se evidencian residuos de cartón contaminado dentro de él y grasa alrededor del lugar.

**Contenedor Viruta metálica.** La viruta metálica procede del taller de soldadura del corte de piezas, se encontraron 3 diferentes tipos de viruta según el tamaño y grosor, cada viruta es almacenada en recipientes metálicos, además, se evidencian residuos como trapos y plásticos que no deberían mezclarse. La viruta se muestra en la figura 72, allí se ven los diferentes tipos.

**Figura 72***Viruta metálica*

**Escurredor De Filtros.** Con respecto a los aceites de los filtros, antes de enviarse a la fundación rotaria Manos solidarias para su recuperación, deben colocarse boca abajo con el fin de escurrir la mayor cantidad de líquido posible, estos filtros se colocan en un recipiente especial que también es drenado. Este escurridor se muestra en la figura 73.

**Figura 73***Escurredor de filtros de aceite.*

Se realiza la tabla 5 que permite identificar si posee o no procedimientos relacionados a la disposición final.

**Tabla 5***Estado Actual de la Disposición final de Residuos*

ÍTEM	SI	NO	DESCRIPCIÓN
¿Posee un sistema para manejo de lixiviados?	x		Posee estructuras de almacenamiento de lixiviados que evitan el vertimiento directo al suelo
¿Existen controles periódicos del nivel de las celdas de residuos?	X		
¿El lixiviado tiene contacto con los residuos o las celdas?		X	Posee Geomembrana protectora
¿El lixiviado posee sistemas de tratamiento?	X		
¿Existe un seguimiento al caudal de producción de lixiviado?	X		

ÍTEM	SI	NO	DESCRIPCIÓN
¿La vía de acceso se encuentra en óptimas condiciones?	X		
¿Las celdas se ubican en una topografía estable?	X		
¿Existen estructuras de tratamiento en las lagunas de almacenamiento?	X		
¿Existe sistema para el manejo de gases generados por los residuos?		X	No hay generación de gases representativa
¿Existen registros del biogás producido?		X	
¿Se conoce la composición química de los gases?		X	No hay generación de gases representativa
¿Existen sistemas adicionales de aprovechamiento de residuos?	X		Proceso de compostaje a cielo abierto para aprovechar los residuos orgánicos generados dentro de la empresa, también bodegas de reciclaje de diferentes materiales
¿Existen problemas por el almacenamiento de residuos?	X		Han ocurrido robos de la geomembrana lo que genera en algunos casos contacto de residuos con el suelo, así como quemas y presencia de algunos animales.
¿Existe afectación del paisaje por el almacenamiento de residuos?	X		Los residuos se encuentran a cielo abierto, muchos de ellos con periodos largos de descomposición
¿Existe mezcla de residuos aprovechables y no aprovechables?	X		Debida a la falta de cultura de separación se evidencian residuos aprovechables contaminados con sustancias peligrosas.
¿El lugar de almacenamiento posee la capacidad para futuras expansiones?	X		El lugar es organizado y con gran dimensión de área que permite expandirse para futuros almacenamientos
¿Existen planes de contingencia?	X		Sí existen planes de contingencia para almacenamiento y recolección de residuos.
¿Existen seguimientos físicos y químicos a los sistemas de aprovechamiento de residuos?	X		Caracterización del compost
¿El personal se encuentra capacitado para el mantenimiento y aprovechamiento de los residuos?	X		

**Matriz DOFA.** Luego de conocer el estado inicial de las condiciones relacionadas a los procesos de generación, aprovechamiento, tratamiento, almacenamiento y recolección de

residuos, conocer sus instalaciones y las actividades que se realizan podemos construir una matriz que permita analizar cuáles son sus debilidades, oportunidades, fortalezas y amenazas según el componente a analizar. Se aclara que existen muchos más parámetros y análisis dentro de cada parámetro. La tabla 6 representa la matriz DOFA.

**Tabla 6**

Matriz DOFA

<b>Componente</b>	<b>Debilidades</b>	<b>Oportunidades</b>	<b>Fortalezas</b>	<b>Amenazas</b>
<b>General</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-No existencia de planes actualizados de gestión de Residuos.</li> <li>-Falta de control del manejo de residuos dentro de la empresa.</li> <li>-Poco compromiso de la comunidad.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reconocimiento por política ambiental de gestión de residuos.</li> <li>- Valor comercial</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Hay iniciativas para la gestión integral de residuos.</li> <li>-La empresa posee sistemas de comunicación masiva para capacitar a los empleados.</li> <li>-Existencia de comité ambiental y soporte.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Ser objeto de multas, amonestaciones sanciones y cierres impuestas por las autoridades ambientales de vigilancia.</li> <li>-Deterioro de la imagen institucional.</li> </ul>
<b>Generación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-No existe conciencia de cultura de reducción de residuos.</li> <li>-Desconocimiento de peligrosidad de residuos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Reducir la disminución de residuos desde su generación.</li> <li>-Paisajismo en el nivel 140, lugar de disposición de residuos.</li> <li>-Reducción económica por la disminución de volumen de residuos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Comunidad dispuesta a dar mejor disposición a sus residuos.</li> <li>-Iniciativas para la reducción y aprovechamiento</li> <li>-Gestión Ambiental</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Disminución de la vida útil de las celdas de residuos.</li> <li>-Aumento de las tarifas de aseo.</li> <li>-Pérdida de valor de los residuos al ser contaminados productos de la mala disposición.</li> </ul>
<b>Almacenamiento temporal</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Riego de lixiviados fuera del lugar de almacenamiento temporal.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Acceso a proveedores de recipientes que cumplen con las</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Disponibilidad económica y apoyo para el mantenimiento de las canecas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Riesgos para la salud y medio ambiente por la mezcla de residuos.</li> </ul>

<b>Componente</b>	<b>Debilidades</b>	<b>Oportunidades</b>	<b>Fortalezas</b>	<b>Amenazas</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Dentro de las canecas, sin importar que exista el código de colores, hay mezcla de residuos.</li> <li>-La información acerca del material a depositar no es específica en algunos casos.</li> <li>-Algunas canecas no poseen bolsas de almacenamiento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>características e información.</li> <li>-Capacitaciones y asesorías gratuitas por las autoridades ambientales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Disposición del personal para apoyar la gestión integral de residuos en la separación en la fuente.</li> <li>-Material biodegradable en las bolsas de almacenamiento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Contaminación del suelo por lixiviados.</li> <li>-Proliferación de malos olores y vectores.</li> <li>- Pérdida de valor de los residuos al mezclarse y contaminarse.</li> </ul>
<b>Recolección y transporte interno</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Algunos equipos son muy viejos y están mucho tiempo si operar.</li> <li>-Debe tenerse un tope para la recolección de residuos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Capacitaciones gratuitas sobre prevención de riesgos al medio ambiente por falta de recolección.</li> <li>-Fortalecimiento de rutas de recolección generando más empleo y gestión de residuos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Existen rutas establecidas para la recolección de residuos.</li> <li>-Existe dotación completa de elementos de protección personal.</li> <li>-Los vehículos están acondicionados según las especificaciones técnicas y poseen suficiente capacidad.</li> <li>-Todos los días se disponen residuos en sus respectivos almacenamientos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Proliferación de malos olores y vectores.</li> <li>- De no establecerse una ruta en orden, pueden perderse económicament e residuos con potencial de ser aprovechados.</li> <li>-Daños en los vehículos por antigüedad o por mantenimiento.</li> <li>-Difícil acceso a algunas zonas debido a la dispersión de usuarios.</li> </ul>
<b>Aprov. interno</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Es afectado por la mala</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Comercializar más residuos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Existe una fundación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Desperdicio de materiales</li> </ul>

<b>Componente</b>	<b>Debilidades</b>	<b>Oportunidades</b>	<b>Fortalezas</b>	<b>Amenazas</b>
	<p>separación en la fuente.</p> <p>-Escasez de programas de aprovechamiento de residuos.</p> <p>-Desperdicio de residuos que poseen valor económico de aprovechamiento al no tener buena separación en la fuente.</p> <p>-Falta de conciencia y conocimiento sobre la reutilización de materiales.</p>	<p>que ayudan al ahorro energético, de agua y disminución de contaminación.</p> <p>-Desarrollo sostenible de la región con el aporte de materia prima económica.</p> <p>-Fortalecimiento de la responsabilidad institucional y ambiental generando empleo y más fuentes de ingreso tanto a familias de escasos recursos dedicadas al reciclaje, como a la compañía.</p>	<p>encargada de recuperar papel, plástico, vidrio y algunos metales.</p> <p>-Control de vectores y plagas.</p> <p>-Venta de chatarra</p>	<p>aprovechables aportan al calentamiento global y deterioro de ecosistemas.</p> <p>-Pérdidas económicas por no aprovechar los residuos.</p>
<b>Tratamiento</b>	<p>-Falta de implementación de tecnologías que permitan mayor aprovechamiento.</p> <p>-No existe seguimiento para la venta del compostaje generado.</p>	<p>-Contar con más grupos de recicladores que trabajen el material para su comercialización</p>	<p>-Sistema de compostaje para tratamiento de residuos orgánicos.</p> <p>-Existe personal permanente que separa los residuos reciclables y los adapta según su aprovechamiento.</p>	<p>-Requerimientos por la autoridad ambiental para optimizar el tratamiento de residuos.</p>
<b>Recolección y transporte externo</b>	<p>-Debe existir un volumen que permita la</p>	<p>-Acceso a empresas que posean</p>	<p>-Existe personal que se encarga de recoger y almacenar los</p>	<p>-Los residuos que se encuentran en la intemperie</p>

Componente	Debilidades	Oportunidades	Fortalezas	Amenazas
	recolección de residuos.  - Más frecuencia de recolección en algunas zonas.	aprovechamiento de residuos.	residuos que se enviarán a las empresas externas.	aceleran la descomposición provocando vectores y afectación al paisaje.
<b>Aprov.externo</b>	-Pérdida de material reciclable que puede generar valores económicos significativos.	-Adquirir certificados de gestión de residuos.  -Oportunidades de empleo mejorando la calidad de vida y la responsabilidad social.	-Variedad de empresas de disposición final según el tipo de residuo.  -Contratos para la disposición de residuos químicos de los laboratorios.	-Crecimiento de la huella ecológica de la empresa.

### **Indicadores**

Caracterizar los residuos es importante ya que permite conocer la cantidad y el tipo de residuos que serán recolectados para su aprovechamiento o disposición final. Los residuos sólidos se componen de materia orgánica (procedentes de preparación de alimentos, jardín y madera), papel y cartón (revistas, publicidad, cajas), plásticos (botellas, bolsas, embalajes, platos, vasos, cubiertos), vidrio (botellas, frascos) y metales. Además, esto nos ayuda a identificar si hay problemas en la separación en la fuente y a seguir el nuevo código de colores.

**Residuos aprovechables:** Materiales o sustancias que han sido descartados por la actividad que lo generó pero que son susceptibles a recuperar su valor remanente mediante técnicas de recuperación, reutilización, transformación, reciclaje o regeneración.

**Residuos no aprovechables:** Materiales de origen inorgánico y orgánico que no ofrecen ninguna posibilidad de aprovechamiento, reutilización o reincorporación en un proceso productivo, estos residuos se generan en actividades domésticas, comerciales, industriales o de servicios y no poseen ningún valor comercial.

**Residuos Peligrosos:** Compuestos por biológicos (Residuos Covid como tapabocas, mascarillas, residuos de división médica, biosanitarios, cortopunzantes, guantes), Residuos Peligrosos (Trapos, estopas, papel absorbente, cartones y elementos de protección personal contaminados con grasas lubricantes o hidrocarburos, envases químicos) y Residuos de pilas y baterías.

Con los datos obtenidos mensualmente pueden evaluarse indicadores como el incremento de la cantidad de Residuos sólidos aprovechables, recuperados o que permitan su reincorporación a la cadena productiva, con vista de promover la economía circular y monitorear cuántos residuos se reincorporan a procesos industriales, estos indicadores se evalúan mensualmente en el informe de generación de residuos. La figura 74 es un resumen del informe mensual de la generación de residuos.

**Figura 74**

*Informe Mensual de Generación de Residuos*

INFORME MENSUAL GENERACIÓN DE RESIDUOS													
TIPO DE RESIDUOS	RESIDUOS ORDINARIOS (Kg)				RESIDUOS PELIGROSOS (Kg)				OTROS RESPES (Kg)				
	ESCOMBROS	PODAS	ORDINARIOS	TOTAL	ASERRIN	RESPES ENVIADOS A TRAFICAR	PELIGROSOS (BOLSAS ROJAS)	TOTAL	BATERÍAS AUTOS	RAES	TONERS Y CARTUCHOS		
Jan-21	37.453	18.880	113.840	170.209	300	3.530	21.040	31.470	10.323	0	0		
Feb-21	20.050	13.330	105.050	138.400	450	10.100	26.363	36.913	6.786	0	0		
Mar-21	26.343	24.125	107.550	157.990	660	5.110	23.845	34.610	14.523	0	0		
Abr-21	35.181	21.514	116.230	172.925	1.640	7.330	24.173	33.551	12.369	0	0		
May-21	23.050	10.330	100.530	140.040	0	730	15.103	15.833	10.254	0	0		
Jun-21	33.345	10.330	110.750	161.665	470	5.000	26.652	32.122	7.937	0	0		
Jul-21	43.334	15.040	103.140	161.514	2.250	3.330	27.254	33.044	11.936	0	0		
Aug-21	45.622	21.220	116.400	181.242	1.800	5.190	35.638	42.628	16.516	37.450	0		
Sep-21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Oct-21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Nov-21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Dec-21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
<b>Total</b>	<b>281.957</b>	<b>136.879</b>	<b>876.878</b>	<b>1.295.614</b>	<b>8.380</b>	<b>39.322</b>	<b>215.154</b>	<b>253.236</b>	<b>97.407</b>	<b>37.450</b>	<b>3.000</b>		
<b>Promedio</b>	<b>23.420</b>	<b>11.531</b>	<b>72.806</b>	<b>107.618</b>	<b>692</b>	<b>3.227</b>	<b>17.929</b>	<b>21.103</b>	<b>8.117</b>	<b>3.117</b>	<b>0</b>		

INDICADOR MENSUAL 2021			
MES	Gran Total (Tons) Corporativo	Total separado para aprovechamiento Corporativo(%)	META (%)
Jan-21	573	65	60
Feb-21	133	18	60
Mar-21	197	31	60
Abr-21	74	14	60
May-21	384	53	60
Jun-21	626	63	60
Jul-21	870	77	60
Ago-21	851	74	60
Sep-21	0	0	60
Oct-21	0	0	60
Nov-21	0	0	60
Dec-21	0	0	60
<b>Total</b>	<b>5.645</b>	<b>73</b>	<b>60</b>

TIPO DE RESIDUOS	TOTAL DE RESIDUOS SEPARADOS PARA APROVECHAMIENTO (Kg)															
	CARTON	PLASTICO	PAPEL BLANCO	PAPEL PERIODICO	CHATARRA ASOCIADA ROTARIOS	FILTROS METALICO (CHATARRA)	CAUCHO DE REPELE	VIDRIO	ALUMINIO	MADERA	TANQUES METALICOS	ORGANICOS COMPOST	MANGUERA	TOTAL RESIDUOS APROVECHABLES SDO	CHATARRA ENVIADA A EXCEDENTES	TOTAL RESIDUOS APROVECHABLES
Jan-21	12.204	4.305	2.718	30	132.023	3.355	25.750	263	26	3.373	4.405	2.880	0	197.938	166.470	377.337
Feb-21	13.616	6.604	1.445	22	116.825	8.118	37.350	287	37	3.215	6.239	5.340	0	199.758	410.830	617.374
Mar-21	13.501	6.062	2.152	24	130.843	10.315	53.250	330	45	3.475	7.252	6.070	0	239.325	278.870	533.418
Abr-21	15.431	6.416	321	23	133.162	10.380	38.370	403	23	2.130	7.377	4.430	0	222.752	318.510	554.231
May-21	16.684	4.337	130	40	107.019	3.100	34.230	276	43	2.430	3.219	5.740	0	183.353	34.210	228.237
Jun-21	13.454	7.576	1.036	21	123.070	10.530	47.760	2.261	33	2.335	3.764	3.530	23.450	251.306	173.530	422.633
Jul-21	16.326	3.152	365	11	191.443	10.530	42.600	102	52	3.020	3.243	10.230	0	281.148	376.700	663.154
Aug-21	13.333	8.145	2.047	3	133.315	11.118	35.450	145	30	3.735	2.312	7.865	23.330	302.103	271.440	627.533
Sep-21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Oct-21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nov-21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dec-21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Total</b>	<b>120.615</b>	<b>47.160</b>	<b>11.237</b>	<b>136</b>	<b>1.201.117</b>	<b>81.086</b>	<b>316.320</b>	<b>4.067</b>	<b>301</b>	<b>23.833</b>	<b>34.636</b>	<b>52.145</b>	<b>48.180</b>	<b>1.337.463</b>	<b>2.032.560</b>	<b>4.100.663</b>
<b>Promedio</b>	<b>10.051</b>	<b>3.930</b>	<b>936</b>	<b>11</b>	<b>100.093</b>	<b>6.757</b>	<b>26.358</b>	<b>338</b>	<b>25</b>	<b>1.984</b>	<b>2.886</b>	<b>4.346</b>	<b>3.998</b>	<b>111.422</b>	<b>169.389</b>	<b>341.722</b>

La ecuación 1 indica el porcentaje de residuos aprovechables según la cantidad generada y recuperada, esta ecuación se aplica dentro del informe mensual de residuos para hacer un seguimiento a las metas de reciclaje corporativas.

**Ecuación 1.**

*Porcentaje de Residuos Aprovechables.*

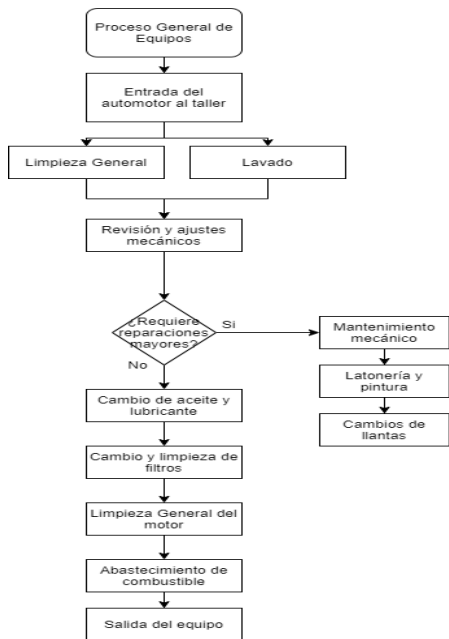
$$\%Residuos Aprovechables = \frac{Cantidad\ total\ de\ residuos\ recuperados}{Cantidad\ total\ de\ residuos\ generados} \times 100$$

**Flujo de Procesos: Talleres de Mantenimiento**

Se realizan el siguiente flujo de proceso en la figura 75, relacionado a las actividades que se realizan en talleres de mantenimiento, el área de mayor generación de residuos, para entender e identificar en qué parte aparecen los residuos a partir de su materia prima.

**Figura 75**

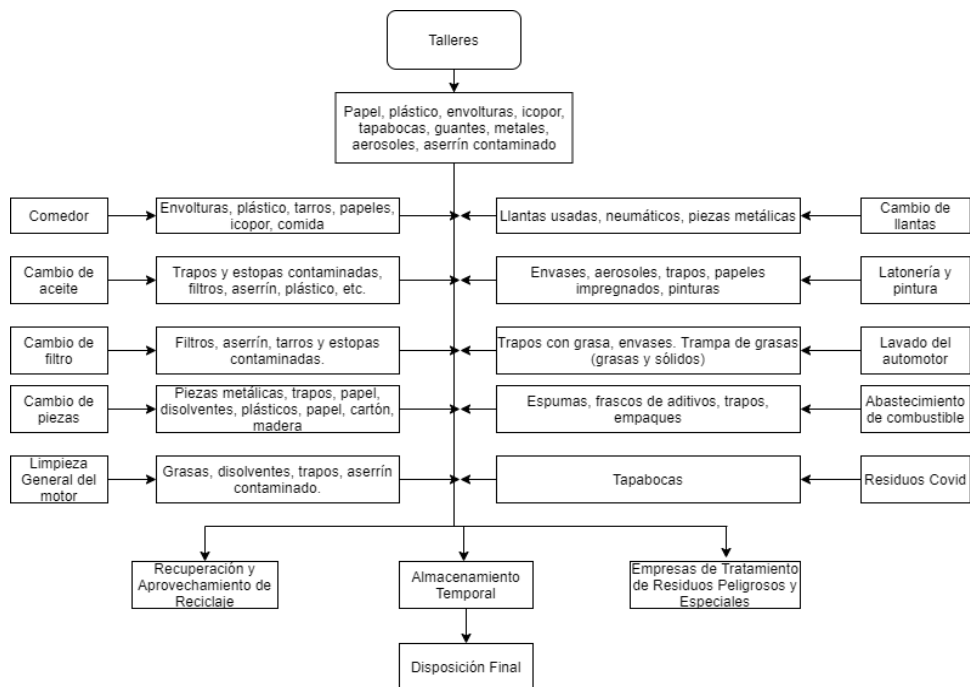
*Flujo de Proceso General Talleres de Mantenimiento*



A nivel general se realiza una descripción del flujo de residuos más común que se encuentra dentro de los talleres de mantenimiento según la actividad realizada, ver figura 76.

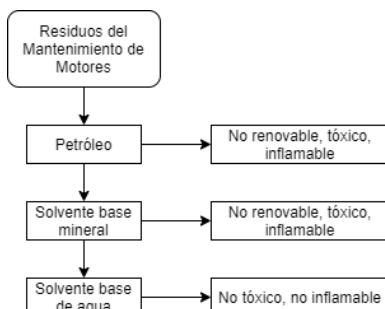
**Figura 76**

*Flujo de Residuos Talleres de mantenimiento*



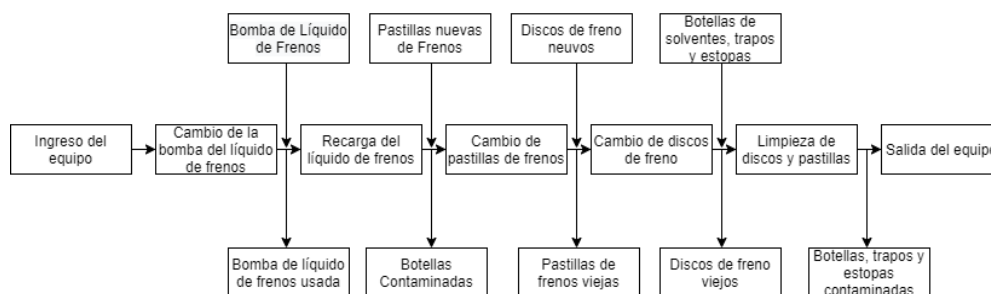
**Mantenimiento de Motor.** En el proceso de mantenimiento del motor, ver figura 77, se obtienen sus respectivos residuos con características no renovables.

**Figura 77**  
*Mantenimiento del motor*



**Mantenimiento de Frenos.** Para el proceso de mantenimiento de frenos se necesitan los siguientes insumos mostrados en la figura 78, obteniendo los respectivos residuos.

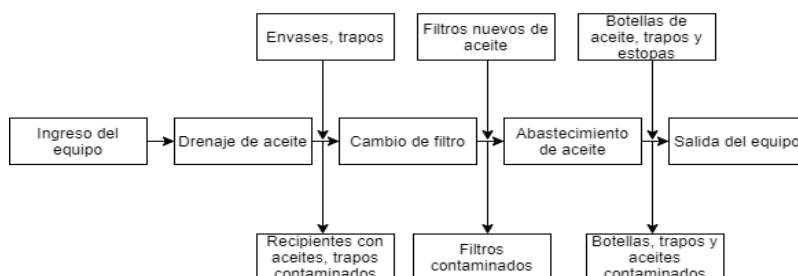
**Figura 78**  
*Mantenimiento de frenos*



**Cambio de aceite y filtros de aceite.** La figura 79 indica el flujo para el proceso de cambio de aceite y filtros de aceite se necesitan los siguientes insumos obteniendo los respectivos residuos.

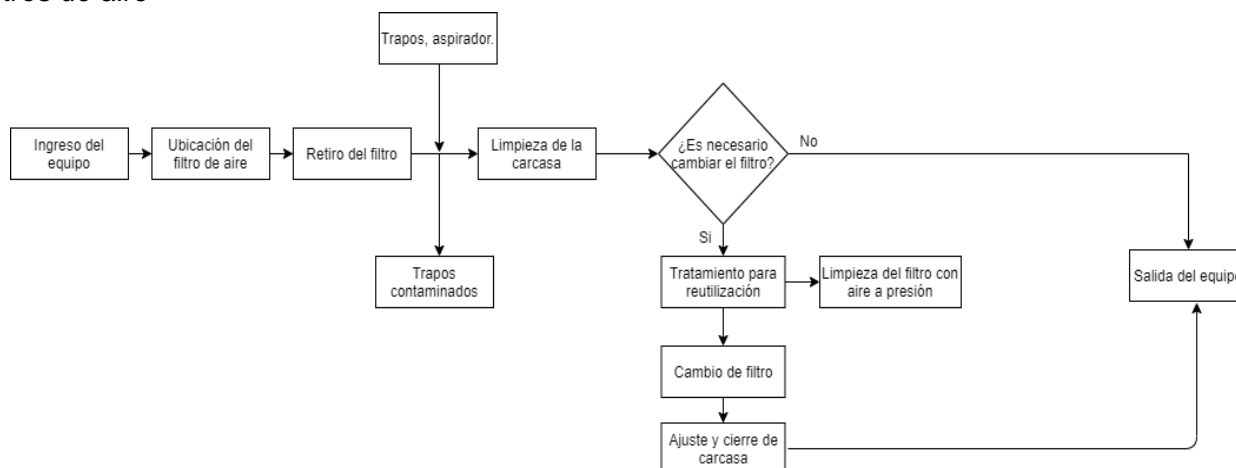
**Figura 79**

*Cambio de aceite y filtros de aceite*



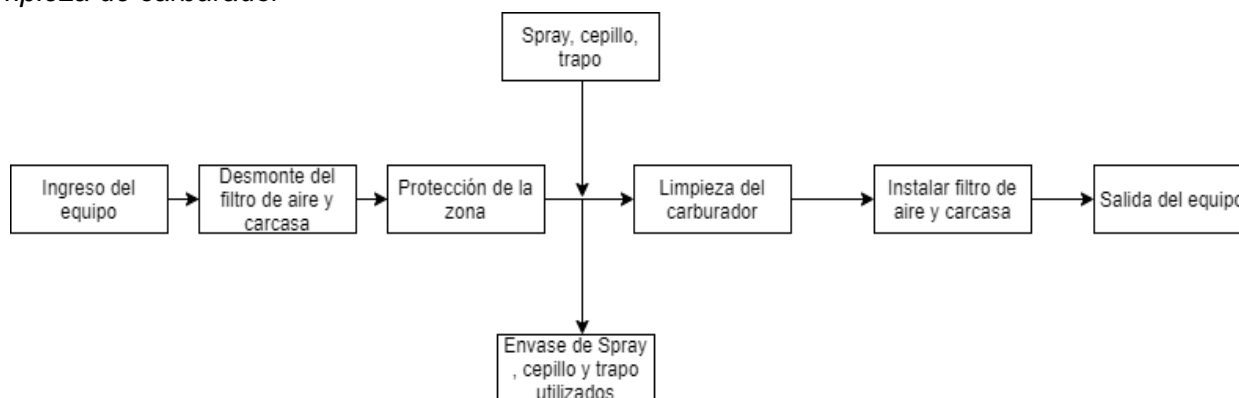
**Filtros de aire.** Para el proceso de mantenimiento de filtros de aire se necesitan los siguientes insumos especificados en la figura 80, obteniendo los respectivos residuos.

**Figura 80**  
*Filtros de aire*



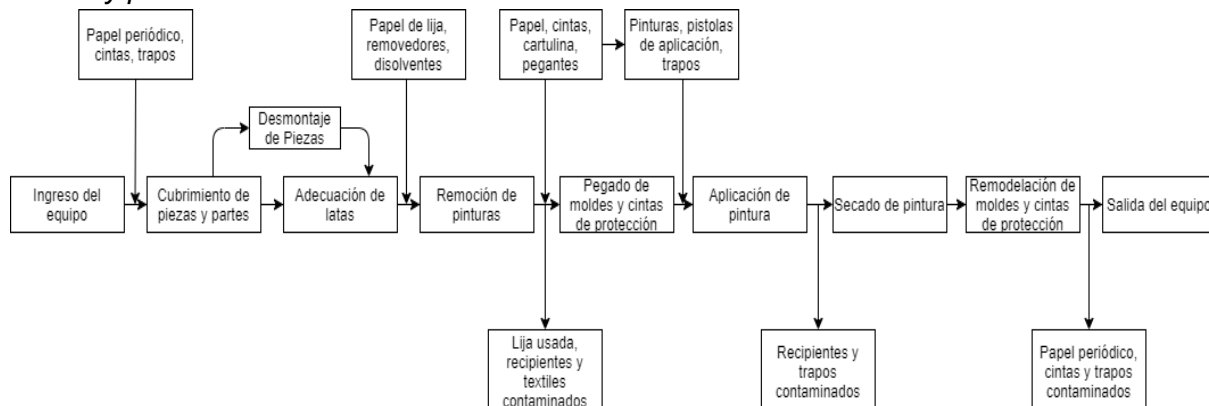
**Limpieza del carburador.** Para el proceso de mantenimiento de carburador se necesitan los siguientes insumos obteniendo los respectivos residuos, ver figura 81.

**Figura 81**  
*Limpieza de carburador*



**Latonería y pintura.** Para el proceso de mantenimiento de latonería y pintura se necesitan los siguientes insumos obteniendo los respectivos residuos, ver figura 82.

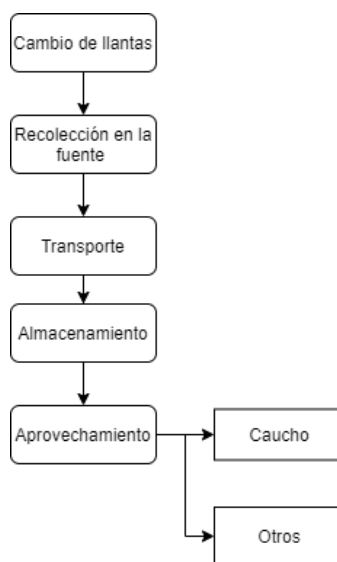
**Figura 82**  
*Latonería y pintura*



**Llantas.** Para el proceso de llantas se realizan las siguientes actividades donde se obtiene aprovechamiento de caucho y componentes de chatarra relacionados a las fibras de metal dentro de las ruedas. La figura 83 resume el proceso de disposición final relacionado al cambio de llantas.

**Figura 83**

*Proceso de disposición final: cambio de llantas*



### **Características de los residuos encontrados en Talleres**

Se encontraron a nivel general las siguientes características relacionadas a los residuos dentro de talleres, a modo resumen se presenta la tabla 7

**Tabla 7**

*Características de los residuos en talleres*

Área	Tipo de Residuo	Características Físicas, químicas y biológicas
Talleres	Aceite usado	Tóxico e inflamable
	Filtros de aceite usado	
	Filtros ACPM	
	Trapos o estopas contaminadas de aceite	
	Recipientes vacíos (aceite, anticongelante, líquido de frenos, aerosoles)	Tóxico
	Desengrasante contaminado (lavado de piezas)	Inflamable
	Baterías usadas	Corrosivo

Área	Tipo de Residuo	Características Físicas, químicas y biológicas
	Lodos de drenajes aceitosos y trampa de grasas	Tóxico
	Lámparas fluorescentes fundidas	Tóxico
Latonería y pintura	Recipientes de pintura (solvente o thinner)	Tóxico
	Trapos, estopas o papel contaminado con solvente o pintura (cromo, plomo)	Tóxico e inflamable
	Filtros usados en pintura y preparación	
	Solventes sucios provenientes del lavado de pistolas neumáticas para aplicar pinturas	Tóxico

### PHVA

A partir del diagnóstico donde se identifica cómo se encuentran los procesos, se identifican las oportunidades de mejora; luego, debe planearse a partir de políticas ambientales estableciendo indicadores y registros continuos de datos. Continua la fase de Hacer, esto se realiza a partir de actividades de gestión como separación en la fuente, clasificación, almacenamiento, transporte y disposición final de residuos según sus características. Seguidamente, debe verificarse si se está cumpliendo la normativa y los objetivos planteados a partir de la evaluación de indicadores. Por último, se debe actuar con mecanismos de reciclaje y aprovechamiento para mejorar la disposición final y minimizar la cantidad de residuos generados en la fuente. El ciclo PHVA se muestra en la figura 84.

**Figura 84**

Ciclo PHVA

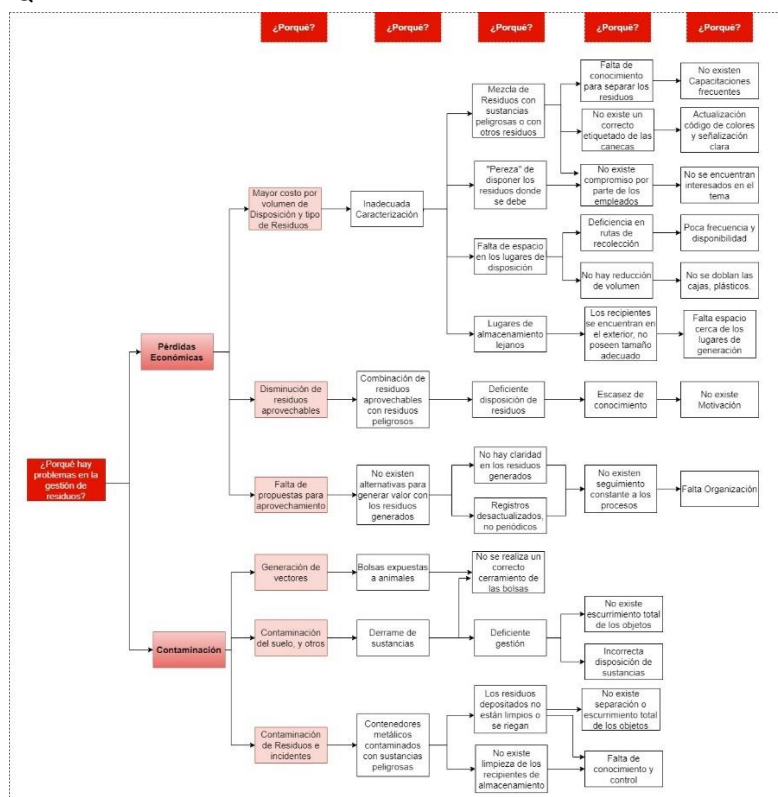


Teniendo en cuenta la importancia de reconocer cuáles son los problemas presentes, se aplica la metodología de los “5 Por qué” para definir cuales serán los estándares a aplicar

según las afectaciones que se presenten luego de conocer el diagnóstico. Esto se evidencia en la figura 85.

**Figura 85**

*Metodología 5 PQ*



Para poder realizar un estándar relacionado al proceso de residuos podemos responder las siguientes preguntas dentro de las diferentes áreas en las inspecciones:

- ✓ ¿Los residuos están clasificados y caracterizados en la fuente de generación?
- ✓ ¿Se identifican los residuos según sus características de aprovechable, no aprovechable y peligroso (¿corrosivo, reactivo, tóxico, inflamable, infeccioso)?
- ✓ ¿Se determinan incompatibilidades entre sí? (Riesgo de generar gases, incendios, explosiones)
- ✓ ¿Existen registros mensuales de los diferentes residuos generados por peso y volumen, según clasificación?
- ✓ ¿Los residuos son almacenados en recipientes adecuados dentro del sitio específico, impiden el acceso directo a animales, difusión de olores, proliferación de vectores, aspecto estético agradable y falta de mantenimiento?
- ✓ ¿El lugar de almacenamiento está cubierto, señalizado y con buena ventilación?
- ✓ ¿Se presenta contaminación de residuos al entorno?
- ✓ ¿Hay acumulación de residuos producto de su no recolección?

✓ ¿Se cumplen los procedimientos para el manejo de residuos peligrosos?

### **Prevención y Mitigación**

En las áreas deben prevenirse y mitigarse los siguientes impactos:

1. Proliferación de vectores (insectos, roedores) que formen focos de infección y puedan transmitir enfermedades al ser humano
2. Contaminación de cuerpos de agua (superficial y subterráneo) con el contacto de residuos, lixiviados, aceites y grasas de manera puntual o por arrastre de precipitación.
3. Degradación y contaminación de suelos mediante alteración de características físicas y químicas por el contacto de hidrocarburos, aceites, lixiviados y descomposición de residuos sobre él.
4. Contaminación atmosférica producto de los malos olores de la descomposición de residuos.
5. Alteración estética del paisaje
6. Pérdida de materiales que pueden aprovecharse dentro o fuera de la mina.

Otras estrategias propuestas relacionadas al proceso de prevención y mitigación incluyen acciones y actividades como:

**Etiquetado de Recipientes.** La separación y clasificación de los residuos sólidos peligrosos es la base de una adecuada gestión. Por eso, el etiquetado sirve para identificar el tipo de residuo almacenado y evitar mezclas, aumentando el aprovechamiento que se afecta por causa de la contaminación. Esta propuesta de etiqueta debe ir en los cilindros metálicos que los almacenan, de esta manera puede tenerse más control sobre el área generadora, cantidad y fecha. El rótulo propuesto se evidencia en la figura 86, es importante incluir la simbología y el título del residuo que se está almacenando.

### **Figura 86**

*Etiquetado de recipientes de almacenamiento de residuos.*

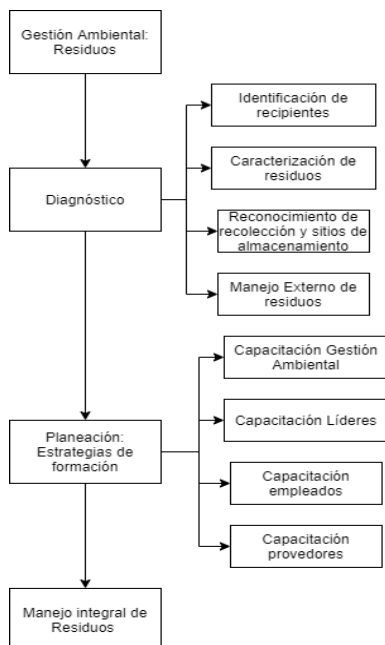


**Educación y capacitación.** Para realizar las capacitaciones debe establecerse quienes deben recibir las conferencias y el tema a tratar. Todo esto se realiza con el objetivo de crear un compromiso y optimización de una adecuada gestión integral de residuos, a partir de fomentar una cultura que involucre a todas las personas y promueva la participación ecológica.

En este ítem se incluye el fortalecimiento de dos problemas identificados en los empleados, el primero asociado a la actualización de información y el segundo al débil seguimiento de las normativas, por esta razón, retomar el grupo de vigías ambientales permite más inclusión y control. La figura 87 indica el proceso de estructuración de educación.

**Figura 87**

*Estructuración de Capacitaciones*



La meta abarca la capacitación de la totalidad (100%) de vigías ambientales y personas de las cuales estén a cargo, logrando conciencia ecológica, mitigación del impacto ambiental, reducción de costos que genera la mala separación, el aumento de residuos aprovechables y la generación de mayor valor económico con su venta. Se establecen las siguientes capacitaciones con las temáticas ambientales de: Caracterización de Residuos, reducción y separación en la fuente, recolección, disposición final e impactos al ambiente y salud, con sus respectivos objetivos en fechas programadas dentro del transcurso del año. La tabla 8 es una propuesta de las capacitaciones programadas para lograr una educación focalizada en la gestión de residuos.

**Tabla 8**

*Capacitaciones Programadas*

Capacitación	Objetivo	Fecha programada
Gestión Ambiental	Conocer la política ambiental de la empresa	Anual
Manejo integral de Residuos	Fortalecer técnicas de aseo y señalización de las áreas de almacenamiento	Trimestral

Separación en la fuente de residuos	Fortalecer la separación, aprovechamiento y disposición de residuos.	Trimestral
Programa Postconsumo	Divulgación de campañas postconsumo de residuos	Anual
Información de seguimiento y vigilancia (Vigías)	Informes de seguimiento y control de las áreas	Mensual
Aspectos e Impactos Ambientales	Crear conciencia de los aspectos e impactos ambientales ocasionados por las actividades específicas que se ejecutan.	Anual

Dentro del mejoramiento a la gestión integral de residuos se encuentran las inspecciones ambientales organizadas por Superintendencia, primeramente, se ejecuta en las zonas más vulnerables como lo son talleres de mantenimiento de equipos. Se realiza con la titulación de vigías ambientales, personas encargadas de velar por la buena disposición de los residuos y correcta separación en los lugares de trabajo, deben hacer una serie de evaluaciones que permiten identificar si se cumplen o no los estándares establecidos respecto al tema, los vigías reciben su respectivo entrenamiento.

La figura 88 evidencia la capacitación de un vigía ambiental para la realización de inspecciones, así como la capacitación del personal cerca al área de almacenamiento temporal de residuos explicando la nueva normativa relacionada al código de colores y los estándares que deben tener las áreas relacionadas al orden y aseo.

### Figura 88

#### *Capacitación de vigías y personal*



La figura 89 muestra el formato de las inspecciones ambientales, se evalúan 16 estándares con relación al almacenamiento, separación y recolección de los residuos; a partir de un tablero de control, se realiza un seguimiento a cuáles estándares poseen más incidencia y mayor afectación para tomar acciones correctivas y de mejoramiento continuo dentro de las zonas de importancia, tales medidas se relacionan a rotulación del área, charlas sobre cómo deben disponerse los residuos y a futuro sanciones por la repetitividad o peligrosidad de los incidentes pues en algunos casos los residuos peligrosos se encuentran expuestos a la intemperie y muy cerca a los trabajadores poniendo en riesgo su salud.

Figura 89

## Formato Inspecciones Ambientales: Manejo de Residuos

**DEPARTAMENTO DE GESTIÓN AMBIENTAL**  
**SEGUIMIENTO ESTÁNDARES DE MANEJO DE RESIDUOS**

FECHA: \_\_\_\_\_ HORA: \_\_\_\_\_ INSPECCIONADO POR: \_\_\_\_\_

LUGAR/ÁREA: \_\_\_\_\_ TIPO DE ÁREA (Externa/Interna): \_\_\_\_\_

Código	Descripción Estándar	EQUIPO:			Superintendencia
		Cumple (SI/NO)	Nivel de Severidad (1/2/3)	Causa(s)	
5001	Área en orden y aseo				
5002	Caneacas en el área: Reciclables - Ordinarios - Peligrosos: HCa y químicos - Pilas - Aerosoles				
5003	Correcta separación de residuos: Reciclables - Ordinarios - Peligrosos: HCa y químicos				
5004	Hay caneacas de riesgo biológico rotuladas y con logo afuera de los comedores y/o en sitios claves				
5005	Área rotulada				
5006	Caneacas rotuladas				
5007	Área demarcada/rotulada/señalada				
5008	Caneacas en buen estado				
5009	Caneacas con tapas				
5010	Caneacas con espacio para disponer residuos (que no estén llenas)				
5011	Área alrededor de caneacas sin residuos				
5012	Sin derrames/fugas en el área (aceite, residuos líquidos, combustible, todos)				
5013	Parte exterior de la caneaca limpia: libre de grasa, lodos, derrames				
5014	Caneacas con contenido de sustancias químicas, grasas, hidrocarburos, o elementos impregnados de estos deben estar sobre estibas de autocombustión				
5015	Envases /caneacas de productos químicos o hidrocarburos desocupadas para entregar para reciclaje				
5016	Caneacas de residuos ordinarios y/o peligrosos con boetas				

Adicionalmente, se realizan algunas capacitaciones sobre el nuevo código de colores y la importancia de contribuir con el manejo de estos desechos. Se aclara que dentro de Cerrejón existen colores propios de almacenamiento así no se relacionen con los nacionales, por ejemplo, los aerosoles se almacenan en el color blanco ya que internamente se aprovechan.

La tabla 9 presenta a modo resumen el nuevo código de colores, el tipo de residuos que almacena, ejemplos, color del recipiente, y ejemplo de la etiqueta.

Tabla 9

## Nuevo código de colores de separación de residuos

	Tipo de Residuos	Materiales a disponer	Color del Recipiente	Etiqueta
Nuevo código de colores	Aprovechables	Plástico, Cartón, vidrio, papel, metales, aerosoles	Blanco	
	No aprovechables	Papel higiénico, servilletas, papeles contaminados de comida, papeles metalizados, icopor, comida, residuos de barrido.	Negro	
	Orgánicos Aprovechables	Restos de Comida, podas y desechos agrícolas.	Verde	
	Peligrosos	Trapos, estopas, papel absorbente, cartones, EPPs contaminado con grasas lubricantes, hidrocarburos y envases químicos	Rojo	
	Biológicos	Tapabocas, mascarillas, biosanitarios y residuos cortopunzantes.	Rojo	
	Pilas y Baterías	Pilas y baterías	Rojo	

## **Aprovechamiento**

Entre los beneficios que se obtienen por reciclar se encuentra el aumento de la vida útil de los rellenos sanitarios y las celdas de disposición de residuos, mitigar las afectaciones al suelo, agua, aire, generación de lixiviados, entre otros impactos ambientales que contribuyen también al calentamiento global y al efecto invernadero. Aprovechar los residuos se convierte en una fuente generadora de empleo para los recicladores, contribuye a la reducción de la tala de árboles conservando los recursos naturales, ahorro de energía y sobre todo fomentar el consumo responsable.

En el aprovechamiento se busca que, a partir de un manejo integral, los residuos recuperen su vida útil o que sean reintegrados a procesos productivos, esto genera menor volumen depositado en los rellenos y celdas, menor costo por disposición y más ganancias económicas, producto de residuos aprovechables. El aprovechamiento comienza desde la separación de residuos según sus características (orgánico – inorgánico, aprovechable- no aprovechable, mojado – seco) permitiendo que los productos puedan circular más tiempo de forma eficiente.

Previamente al aprovechamiento, deben realizarse un refuerzo en las actividades de separación de residuos (incluyendo programas de educación, incentivo, difusión y comparendos), recolección selectiva (seguimiento y monitoreo al cumplimiento del plan de manejo ambiental) y recursos (área, equipos y personal). Debe tenerse en cuenta que para poder aprovechar los residuos debe existir un mercado que permita su comercialización, por esto existen algunos materiales que no se reciclan ya que su precio no es sostenible dentro de los procesos o porque deben ejecutarse técnicas para evitar la degradación del plástico y los malos olores, esto ocurre con las bolsas de leche que deben ser lavadas.

**Reutilización.** La reutilización de residuos invita a usar nuevamente el producto sin someterse a procesos de transformación, esto ocurre con algunos envases, madera, muebles y bolsas plásticas, evitando que se desechen luego de un solo uso, de esta manera.

En este método de aprovechamiento también se incluye el aluminio, el papel, el cartón, el vidrio, entre otros que sirven como materia prima para elaborar otros procesos. El compost y la generación de energía, y los residuos de construcción para recuperación de terreno y reutilización de materiales.

**Aprovechamiento de residuos orgánicos.** El aprovechamiento de residuos orgánicos es muy beneficioso para potenciar ecológicamente la agricultura ya que la materia orgánica ayuda a recuperar suelos degradados y mitigar los problemas relacionados al uso de fertilizantes sintéticos en los cultivos. Finalmente, permite crear empleo en cada actividad y la venta de abonos. A nivel general, existen alternativas relacionadas al compostaje y lombricultura, biogás, deshidratación, biocombustible, incineración y pirólisis, biocombustibles y plasma (Ministerio de Ambiente, 2008).

Cerrejón cuenta con su compostera para residuos orgánicos aprovechables, dentro del proceso se puede viabilizar la venta de este abono de manera oficial e incluso distribuirlo en las

personas que contribuyen con la separación desde su generación, en procesos de siembra internos e incluso para las comunidades que habitan alrededor de la mina. Debe tramitarse ante las autoridades ambientales y el ICA su comercialización. En caso de ser necesario, el lugar se adecuará aumentando el espacio, evitando el contacto con la lluvia y también con vectores que puedan alterar su composición. Se busca que las personas intensifiquen la cantidad de materia orgánica almacenada y que sea separada correctamente, de esta manera se evita que antes de depositarla en su respectiva hilera deba realizarse un proceso de inspección y división de los materiales aptos.

Otra técnica que involucra los residuos orgánicos es la biodigestión, donde a partir de tecnología sencilla se convierten los residuos en fuentes aprovechables como el gas metano que permite la generación de energía e incluso abono. Esto trae consigo la generación de empleo creando un programa que capacite a habitantes del sector en la elaboración y mantenimiento de biodigestores, permite que las comunidades contribuyan con el medio ambiente, generen recursos y aprendan sistemas para no desaprovechar el potencial de los desechos que generan.

La lombricultura es otro método de aprovechamiento de residuos orgánicos, sin embargo, no se plantea como alternativa porque ya se ha intentado y no ha dado buenos resultados debido a las altas temperaturas y condiciones de la zona.

**Aprovechamiento de Residuos Reciclables.** En la actualidad existe aprovechamiento de residuos por parte de la Fundación Rotaria Manos Solidarias, residuos que incluyen papel, cartón, plástico, vidrio, latas, etc. Sin embargo, aunque más del 60% de los residuos son recuperados todavía se puede aumentar este porcentaje si dentro de los sitios de generación se clasifican y se cuidan que los residuos no sean contaminados con otras sustancias como ocurre en talleres con el cartón, que al no ser almacenados correctamente se impregnan de grasa y pierden su aprovechamiento. Por esta razón, se busca que desde la fuente exista un mayor control para aumentar el número de kilogramos que pueden reutilizarse y aprovecharse para la elaboración de otros subproductos. En este ítem se incluyen las llantas usadas, residuos forestales, metales, residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, aceite usado, baterías y textiles.

Con relación a los residuos derivados de envolturas de alimentos pueden transformarse en elementos para la construcción de casas para las personas que habitan aledañosamente y lo necesitan, en estas viviendas se utilizan botellas plásticas rellenas de plástico aglomerado mejorando la calidad de vida. Junto a alianzas estratégicas gubernamentales puede promoverse la generación de empleo, el bienestar social y el compromiso ambiental del aprovechamiento adecuado ya que una casa elaborada en madera plástica es equivalente a la disminución de 7 toneladas de residuos en el mundo (Econciencia, 2016).

**Aprovechamiento de Residuos de Construcción.** La mina al estar en constante movimiento genera, de manera no muy frecuente, residuos de construcción y demolición, realizando una adecuada selección, acopio y tratamiento se pueden reutilizar diversos materiales disminuyendo los insumos que se necesitan dentro de las obras negras, así como reducciones económicas en transporte y disposición.

**Recuperación de energía.** Este método se asocia más al aprovechamiento dentro del relleno sanitario donde se aprovecha el gas que se genera y a partir de una combustión permite recuperarse como energía o gas natural.

### **Análisis Hídrico Y Cumplimiento De La Normativa Legal Vigente**

El agua es uno de los recursos naturales más importantes para los seres humanos, se renueva de forma constante por medio del ciclo hidrológico y de ella depende el desarrollo y la calidad de vida de los seres vivos. Sin embargo, puede ser un recurso escaso volviéndose vulnerable a ser contaminada y perder su calidad, bien sea por medios externos (antropogénicos) o propios (erosión, aspectos climáticos, geográficos, etc.) impactando en el valor social y ambiental del planeta.

La calidad del agua es un tema de interés que alarma a todas las personas y organismos del mundo por las consecuencias en el bienestar de la población, el desarrollo del país, las generaciones futuras y las condiciones ambientales que alteran el entorno; podemos tener una disponibilidad completa del recurso pero si no es consumible o los tratamientos de recuperación no dan resultados, anulan por completo su utilidad a causa de la contaminación y es como si no existiera, incluso puede pasar de ser un ecosistema acuático a convertirse en un vertedero. Con base en esto, muchas personas piensan que las actividades industriales son las principales causantes de la contaminación de los ríos por su mala gestión de operación, explotaciones ilegales o vertimientos ilícitos que no cumplen las normativas, incluso, suele pensarse que el flujo de los ríos es bueno y luego de tener contacto con áreas de operación se disminuye su calidad y se vuelve no apta para consumo, se olvida que acciones como el mal manejo de residuos, los asentamientos o comunidades del sector, los pesticidas que aplican a los cultivos, la ganadería, las aguas sucias expulsadas sobre los arroyos y un sin número de actividades, que, aunque parecen comunes, afectan de forma considerable la calidad de agua.

La mina de carbón Cerrejón, se encuentra ubicada en el departamento de La Guajira entre los municipios de Albania, Barrancas y Hatonuevo, es una de las minas a cielo abierto más grande del mundo y posee aproximadamente 69.000 hectáreas de extensión, dentro de ella circulan diferentes arroyos que aportan sus aguas al Río Ranchería, que también hace presencia dentro de la mina. Por esta razón, existe un riguroso sistema de monitoreo que permite analizar y controlar diferentes parámetros para su retroalimentación y análisis de la calidad del agua, cumplir la normativa y hacer una gestión sostenible de los recursos, evitando que sean contaminados e impactados por la extracción de carbón u otros factores.

Se realiza un seguimiento durante tres años consecutivos (2018,2019 y 2020) de los datos de muestreo relacionados a Cloruros y Sulfatos del Río Ranchería y los arroyos que se ubican dentro de las instalaciones de Cerrejón, realizando un mapa que permita ver de manera más gráfica los lugares de más afectación que incumplen con la normativa relacionada al Decreto 1076 de 2015, a su vez, un análisis de las posibles causas de contaminación que incluyen asentamientos, incendios o causales externas de la operación que aportan a la contaminación del agua.

## **Antecedentes**

Desde la antigüedad y con el paso de los años, los humanos encontraron la necesidad de consumir agua de más pureza para ingerir y preparar alimentos, pues no es mentira que se atribuyen algunas enfermedades a la ingesta de agua de poca calidad. La Guajira es uno de los departamentos de Colombia que sufre por el agua, se encuentra ubicada en una zona relativamente desértica y registra pocas precipitaciones anuales, por esta razón, existe un número considerable de población que no tiene acceso a agua potable de manera natural, debe ser transportada en camiones cisterna para poder abastecer sus necesidades. Además, la mayor cantidad de agua que rodea esta zona es de mar y por sus características salubres necesita tratamientos para poder ser apta para consumo humano.

En el ciclo hidrológico, la precipitación permite que el agua ingrese a las cuencas, luego se infiltra en el suelo y nutre los cauces de ríos y arroyos, a su vez, es retenida en lagunas y embalses donde se evapora y fortalece los ecosistemas que habitan a su alrededor, finalmente, el agua retorna a la atmósfera por la transpiración de las plantas y se renueva una y otra vez dando vida en la tierra. Las cuencas han tomado un valor relevante en los procesos del agua y su aprovechamiento sostenible, por esto las normativas estructuran planificación y gestión del recurso permitiendo un manejo integral que incluya cantidad, calidad y sistemas de recuperación.

En la calidad influyen características biológicas, físicas y químicas que determinan su aprobación en funciones determinadas como consumo, riego, recreativo, entre otras actividades. El agua puede afectarse de manera física dependiendo del tiempo, el clima, la precipitación o la radiación solar que reciba; de manera química según su pH, dureza, oxígeno disuelto, demandas químicas y biológicas de oxígeno; y biológicas que se relacionan al incremento de población, urbanización, vertimientos, cambio climático, aumento de especies invasoras a los ecosistemas y actividades industriales que impactan el ambiente, por eso para analizar los parámetros y su variabilidad debe tenerse en cuenta si es de origen residual, doméstico o industrial pues su carga orgánica y compuestos depende de las actividades que se realicen.

En conclusión, afectar el agua depende de dos causas principales, las características ambientales y topográficas de la zona o los medios antrópicos, aunque la primera es imposible de controlar, la segunda relaciona directamente el tratamiento y la gestión. Dentro de la gestión, el monitoreo periódico es una de las actividades de más relevancia que permite detectar de forma temprana e inmediata los cambios en la calidad, no es solamente hacer mediciones y reunir un sin número de datos, es analizar los resultados, evaluar estadísticas, tomar decisiones y vigilar el cumplimiento de las normativas que contribuyen a la preservación del recurso hídrico. El desequilibrio hídrico es relacionado al mal manejo de suelos que incluye deforestación, quemas, sobrepastoreo, agricultura intensiva, drenaje inadecuado, cultivos en pendientes, tala incontrolada; problemas sociales relacionados al deficiente manejo de residuos y desechos, vertimientos no autorizados, construcción de viviendas en áreas no aptas; contaminación de tipo industrial, agroquímicos, pesticidas, vertimientos de aguas residuales, emisión de humos, gases, partículas, explotación minera inadecuada, todo esto conlleva

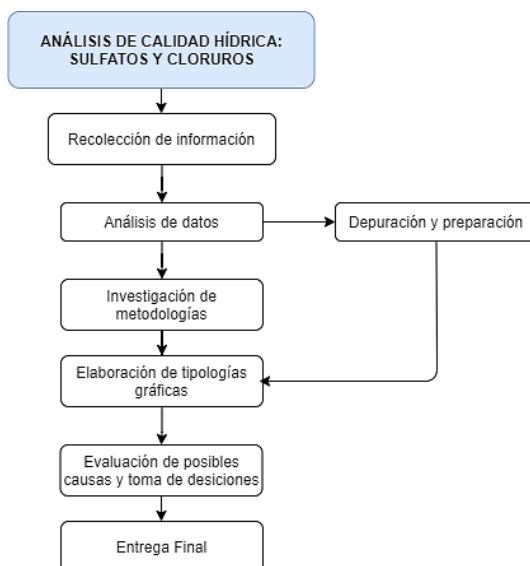
además a efectos como la erosión y sedimentación, disminución de caudales en quebradas y ríos, deterioro de la calidad de agua y enfermedades como la hepatitis, amibiasis, disentería, cólera y tifoidea.

La cuantificación del estado del agua se realiza según la alteración de parámetros con relación a un valor base, existen diferentes formas de comparar y evaluar los parámetros, esto incluye los indicadores ICA, resoluciones, decretos y diferentes valores límites estipulados según la zona, el sector y el uso. En nuestro caso se basó en el Decreto 1594 de 1984 que posteriormente fue modificado por el Decreto 1076 de 2015 que contiene el uso del recurso de Ríos y arroyos (artículo 38 y 39), establece un valor de cloruros con un máximo permisible de 250 mg Cl-/L y para sulfatos de 400 mg SO<sub>4</sub> /l.

Para realizar el siguiente informe de análisis se procedió a utilizar la siguiente metodología indicada en la figura 90, primero se hace una recolección de información de los datos de calidad de agua, la ubicación de los puntos de muestreo y análisis del territorio. Luego se realiza un análisis de datos, sus unidades, fechas, métodos de ensayo que permitan depurar y preparar la información que se va a utilizar en la construcción de los mapas. Se elaboran los mapas mediante el software de SIG (Sistemas de Información Geográfica) ArcGis, con esto puede analizarse de forma más clara cuáles son las zonas donde existe contaminación y así evaluar las posibles causas que llevan al incumplimiento de la normativa, eso también permite establecer algunas medidas que permitan tomar decisiones, mejorar y controlar la gestión hídrica dentro de la mina Cerrejón. Finalmente, se realiza la entrega del informe.

**Figura 90**

*Metodología*



### **Marco poblacional**

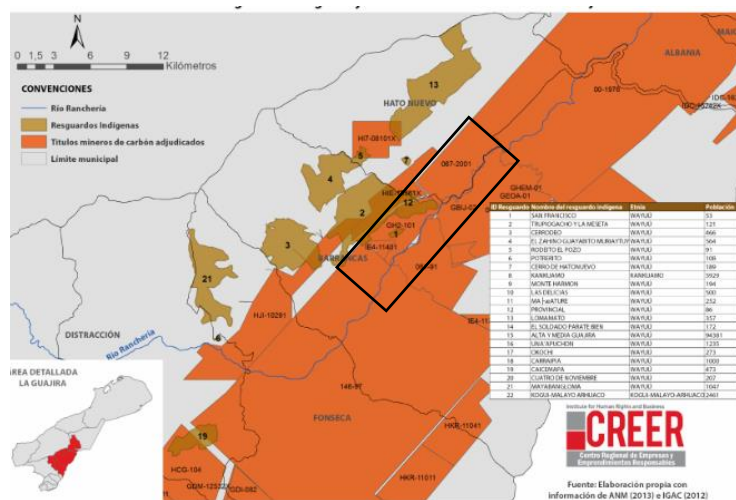
En adición a la población que habita en las cabeceras municipales y las veredas de la zona de estudio, también hay población indígena que vive dentro de esta área. En la etnia wayúu la

territorialidad es definida por la proximidad a un recurso natural que puede ser una ciénaga, una salina o un yacimiento de talco o yeso, por esta razón todo el territorio peninsular es ancestral. En los municipios donde se monitorea la calidad de agua del Río Ranchería existen resguardos indígenas que son: Fonseca (Mayabangloma), Barrancas (Cerrodeco, Trupiogacho-La Meseta, San Francisco, Provincial, El Zahino Guayabito Muriaytuy), Hatonuevo (Wayuu Rodeíto El Pozo, Cerro de Hatonuevo, Wayuu de Lomamoto) y Albania (Cuatro de Noviembre).

Con base al Geoportal DANE, se evidencia el mapa de ubicación de los Resguardos indígenas en el departamento de La Guajira en la figura 91, estos resguardos se muestran de color marrón en los diferentes municipios de la zona, además, existen otros asentamientos no especificados de poblaciones externas dentro del área. Todo esto influye ya que las fuentes antropogénicas son las más relevantes en la contaminación del recurso hídrico, al ubicarse tan cerca de la operación pueden contribuir al aumento de concentraciones de los puntos monitoreados. El mapa hace una comparación de los resguardos (café) respecto a la ubicación de los títulos mineros relacionados al carbón (color naranja) adjudicados.

### Figura 91

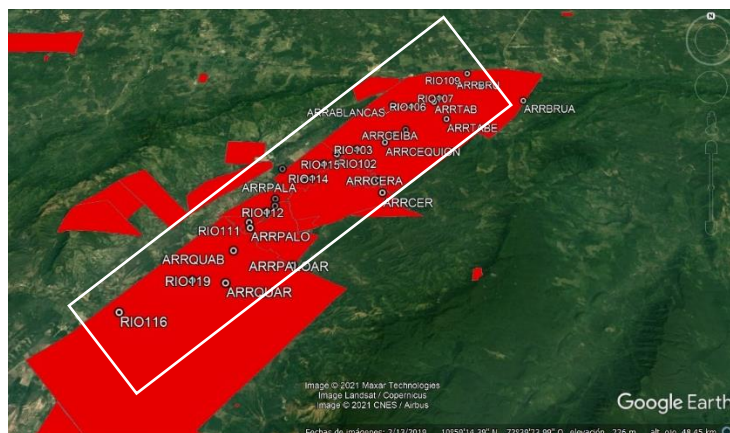
*Ubicación de Resguardos indígenas en La Guajira.*



Adicionalmente, con los datos abiertos de la Agencia Nacional de Minería se evidencia la figura 92 con el título minero que posee Cerrejón (cuadro blanco) y dentro de él los puntos de monitoreo de las fuentes hídricas. Se evidencia que, en los alrededores del complejo minero, y dentro de él, existen otros títulos mineros pertenecientes a diversas empresas, están relacionados a minerales como la caliza e incluso el mismo carbón, esto es relevante ya que al ser de menor dimensión y encontrarse cerca de la operación pueden afectar la calidad hídrica como consecuencia de una deficiente gestión y atribuirse a Cerrejón los impactos que puedan generar.

**Figura 92**

*Títulos mineros y puntos de monitoreo*



### **Parámetros a evaluar**

**Sulfatos.** Los sulfatos son sales del ácido sulfúrico, se encuentran presentes en cualquier agua natural ya que provienen de los suelos ricos en yeso y minerales similares como el calcio; en nuestro caso, la mina Cerrejón tiene sus orígenes bajo un inmenso océano que trajo consigo el carbón, su contenido de agua salada hace que los suelos tengan como constituyente fundamental el cloro y el sodio en forma de cloruro de sodio, conocido como sal común, además, compuestos como calcio, potasio, bicarbonato de sodio, bromuro de sodio, azufre, bromo, estroncio, boro, flúor, entre otros característicos del mar.

En la oxidación de la materia orgánica se encuentra el ciclo biológico del azufre que sirve de energía para el metabolismo de algunas bacterias, este ciclo biogeoquímico se puede encontrar en el agua o en el suelo formando sulfatos; a nivel industrial es común que provengan de contaminaciones por residuos de curtiembres, plantas electrolíticas, textiles o industrias que usen productos con este componente y sus derivados. La oxidación de los sulfuros en la pirita en los residuos del drenado de minas también aporta grandes cantidades de sulfatos.

El azufre es esencial para la formación de aminoácidos, siendo importante para los microorganismos, sus límites máximos se establecen según el uso del agua, su presencia puede causar un sabor salado y efectos de laxante, sin embargo, se aclara que algunas comunidades consumen agua sobre los valores máximos permitidos y no presentan consecuencias adversas.

La medición de este parámetro se realiza en forma turbidimétrica, una técnica analítica óptica basada en el fenómeno ocurrido en disoluciones homogéneas de partículas sólidas, al perder su homogeneidad la luz que atraviesa la celda pierde intensidad comparada con la que había antes de la turbidez, es desarrollada por la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales ASTM D516-16. Las muestras deben recolectarse en frascos de plástico o vidrio

evitando que ciertas bacterias reduzcan los sulfatos a sulfuros, en sus materiales y reactivos se encuentran el espectrofotómetro ultravioleta-visible (UV-VIS) que realiza el haz de luz y la solución trazadora y acondicionadora de sulfato, que permite que se mantengan suspendidos mientras pasa el haz de luz.

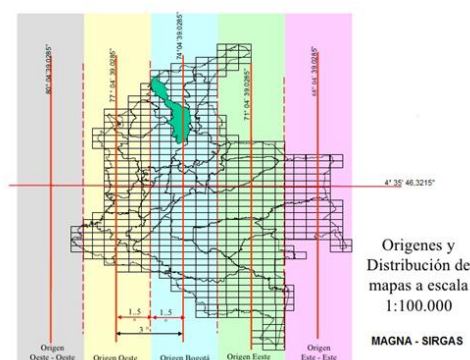
**Cloruros.** Los cloruros resultan de la combinación del ion negativo del gas cloro con el ion positivo de un metal, estas sales se encuentran disueltas en el agua, la forma del ion  $\text{Cl}^-$  procede de manera natural. Una causa de la aparición de cloruros es la disolución de suelos o rocas que posean este material y se encuentren en contacto con el agua, debido a la alta solubilidad de las sales que pasan de manera rápida a la fase acuosa las concentraciones aparecen instantáneamente; otra causa es el vertimiento y descarga de aguas residuales domésticas, industriales o agrícolas a las fuentes superficiales. Las zonas áridas aportan cloruros cuando por lluvias existe un lavado de suelos, sus altos contenidos pueden dañar conducciones y estructuras metálicas, perjudicar el crecimiento vegetal, aumentar la corrosividad y, según su concentración, impedir que sea utilizada para consumo humano (no porque sea nocivo, sino por sus propiedades organolépticas de percepción del sabor). La medición de este parámetro se realiza mediante el método Argentométrico, S.M. 4500  $\text{Cl}^-$  B, basado en un análisis químico de la valoración del precipitado involucrando el ion plata, incluye reactivos como el cromato de potasio, titulante de nitrato de plata, cloruro de sodio y en algunos casos hidróxido de aluminio para eliminar la interferencia de color.

### Análisis

Para el análisis se tienen en cuenta 13 puntos dentro del Río Ranchería dentro de los municipios de Fonseca, Barrancas, Hatonuevo y Albania, incluyendo algunas bocatomas, y 16 puntos de Arroyos, con flujos aguas arriba y aguas abajo, que incluyen el arroyo Bruno, Tabaco, Cerrejón, La Quebrada, Paladines, Palomino, La Ceiba, Caurina, Cequión y Aguas Blancas. Estos arroyos hacen conexión con el río principal y además todas las fuentes hídricas se encuentran dentro del área de operación de minería. Se incluyen los datos de coordenadas de los puntos en el Datum Magna Sirgas Origen Bogotá. Las coordenadas se eligen Origen Bogotá según los datos geodésicos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y la ubicación del departamento de La Guajira. Ver figura 93.

### Figura 93

*Datos geodésicos IGAC*



La ubicación geográfica de los puntos de muestreo (Ríos y arroyos) se presenta en la figura 94:

**Figura 94**

Ubicación geográfica



La tabla 10, especifica los puntos analizados e ID referencia con coordenadas Origen Bogotá.

**Tabla 10**

*Puntos muestreados Arroyos y Río*

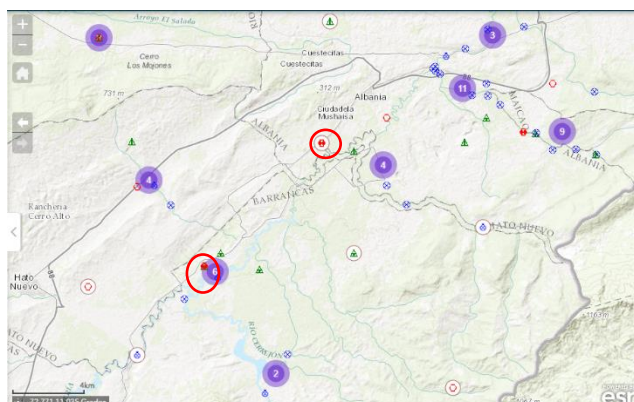
Tipo	Nombre	ID	Coordenadas – Datum Magna Sirgas Origen Bogotá	
			Este	Norte
<b>MATRIZ ARROYOS</b>	Bruno Aguas Arriba	ARRBRU	1172292	1723751
	Bruno Aguas Abajo	ARRBRUA	1167927	1726709
	Tabaco Aguas Arriba	ARRTABE	1163499	1720964
	Tabaco Aguas Abajo	ARRTAB	1162305	1723736
	Cerrejón Aguas Arriba	ARRCER	1156353	1710401
	Cerrejón Aguas Abajo	ARRCERA	1155939	1712084
	La Quebrada A. Arriba	ARRQUAR	1142252	1700060
	La Quebrada A. Abajo	ARRQUAB	1142490	1703576
	Paladines A. Arriba	ARRPAAR	1146164	1713680
	Paladines A. Abajo	ARRPALA	1148512	1712237
	Palomino A. Arriba	ARRPALOAR	1148119	1701860

	Palomino A. Abajo	ARRPALO	1143730	1706182
	La Ceiba	ARRCEIBA	1157606	1718543
	Caurina	ARRCAURI	1158977	1719321
	Cequión	ARRSEQUION	1156704	1717428
	Aguas Blancas	ARRAGBLANCAS	1157649	1723166
<b>MATRIZ RÍO RANCHERÍA</b>	Cerritos	RIO102	1151669	1715765
	Guamito	RIO103	1153740	1716469
	Batea	RIO106	1159707	1723031
	Albania	RIO107	1162907	1724416
	Cuestecita	RIO109	1166495	1728634
	Palomino (Después de la desembocadura)	RIO111	1143555	1706847
	Bocatoma Oreganal	RIO112	1145093	1708132
	Saraita	RIO113	1145853	1708847
	Provincial	RIO 113-A	1145798	1709747
	Bocatoma CDC	RIO114	1149266	1712438
	Puente Arturo	RIO115	1150380	1714398
	Fonseca	RIO116	1133471	1697156
	Puente Guajiro	RIO119	1139209	1700362

Adicionalmente, se realiza una consulta de los datos de precipitación de los años de estudio (2018,2019,2020), se analizaron dos estaciones como se muestra en la figura 95, la primera es La Mina Cerrejón (cerca del Campamento Mushaisa) y la segunda Tajo Sur, esta última se encuentra ubicada cerca del Río Ranchería y el arroyo Cerrejón.

### Figura 95

*Estaciones de precipitación.*



Los datos relacionados (Código, Latitud, Altitud, Ubicación) a estas estaciones se indican en la tabla 11:

**Tabla 11**

*Estaciones pluviométricas*

<b>Código Estación</b>	15065501	15060210
<b>Nombre Estación</b>	CDA- LA MINA CERREJON	PIT-SUR-PATILLA
<b>Latitud</b>	1113758333	1107688889
<b>Longitud</b>	-7261594444	-726750,95
<b>Altitud</b>	80	95
<b>Departamento</b>	La Guajira	La Guajira
<b>Municipio</b>	Albania	Barrancas

Se obtienen los siguientes resultados especificados en la tabla 12, relacionados a la precipitación de las dos estaciones investigadas:

**Tabla 12**

*Datos estaciones pluviométricas*

<b>Año</b>	<b>Mes</b>	<b>Estación Cerrejón (mm)</b>	<b>Estación Tajo Sur (mm)</b>
2018	Enero	132,7	54,7
	Febrero	1,5	0,1
	Marzo	2,9	1,2
	Abril	0,5	28,5
	Mayo	87,5	145,6
	Junio	1	1,6
	Julio	58	52,5
	Agosto	51,5	64,3
	Septiembre	162,2	66,9
	Octubre	269,5	230,1
	Noviembre	90,7	23,9
	Diciembre	0	0
2019	Enero	0	0
	Febrero	1,2	0
	Marzo	0,3	0,8
	Abril	0,6	19,3
	Mayo	115,9	282
	Junio	17,2	34,4
	Julio	40,9	14,3
	Agosto	67,1	143,28

	Septiembre	175,30	151,70
	Octubre	221,30	90,90
	Noviembre	6,60	17,10
	Diciembre	0	0,7
2020	Enero	8,1	11
	Febrero	0	0
	Marzo	0	0
	Abril	0	1
	Mayo	22,3	54,2
	Junio	82,1	89,9
	Julio	28,8	52,1
	Agosto	130,4	60,1
	Septiembre	89,6	150,2
	Octubre	143,1	61,8
	Noviembre	172	212,1
	Diciembre	5,6	2,1

**Año 2018.** Aunque a finales del año 2018 registra un fenómeno del niño a nivel nacional, se presenta la mayor cantidad de lluvia respecto a los tres años analizados del registro total de precipitación, la estación Cerrejón en el año 2018 es la que registra el más alto valor (858 mm/año). En el mes de enero del 2018 el arroyo Aguas Blancas no cumple la normativa ni de cloruros ni de sulfatos, para el primer parámetro presenta un valor de 360 mg de Cl/l y para los sulfatos un valor de 925 mg de  $\text{SO}_4^{-2}$ /l. A pesar que este arroyo se conecta al río ranchería en el punto Rio 106 no se ve afectada su calidad, una de sus razones es que el caudal del río es muy elevado comparado con el del arroyo, permitiendo que haya una dispersión de partículas y disminución de la concentración.

El arroyo aguas blancas presenta valores de conductividad de 3046  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y sólidos disueltos de 2174 mg/l, a más cantidad de sales disueltas en el agua mayor es el valor de conductividad, además, la conductividad es directamente proporcional a la concentración de sólidos disueltos, por eso a más concentración más conductividad; también, se registran sólidos totales de 2320 mg/l. La dureza del agua se asocia a la concentración de compuestos minerales, especialmente sales de magnesio y calcio, durante este mes existe un registro de dureza total de 1040 mg  $\text{CaCO}_3/\text{L}$ , valor influido por las lecturas de calcio (195,1 mg Ca/l) y magnesio (94,96 mg Mg/l), la presencia de estas sales depende de las formaciones geológicas presentes en el agua de forma previa a su captación. Finalmente, otro parámetro representativo son los coliformes fecales (24000 NPM/100m/L) y coliformes totales (160000 NPM/100m/L).

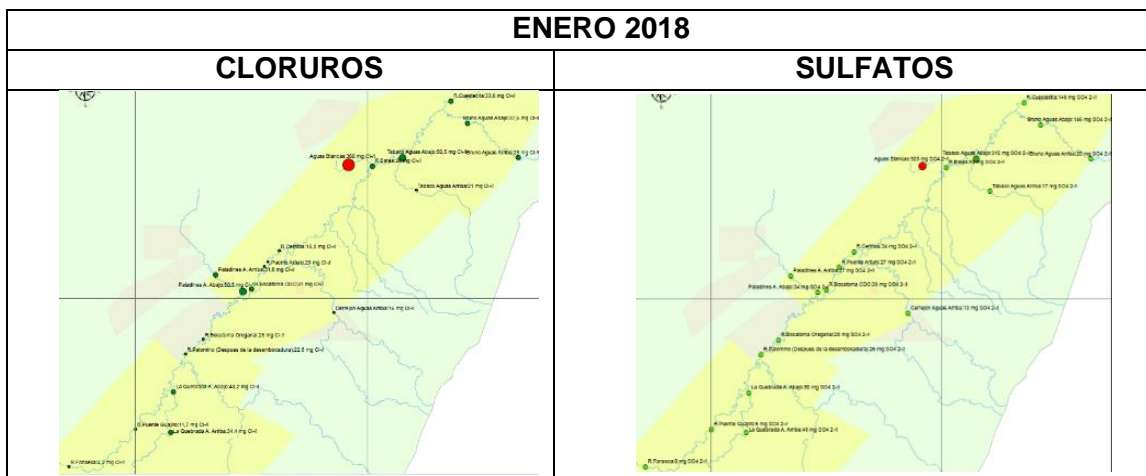
Klebsiella, Citrobacter, Serratia y Enterobacter son géneros del grupo coliforme que se encuentra en el ambiente en grandes cantidades, por ejemplo, fuentes de agua, vegetación o suelos y no se asocian necesariamente a la contaminación fecal ni representan riesgo evidente para la salud; por otra parte, los termorresistentes que pueden fermentar la lactosa, coliformes fecales, comprenden géneros como la Escherichia y en menor proporción los mencionados

anteriormente. La E.Coli es un indicador de la contaminación fecal y posible presencia de patógenos, ya que está específicamente en el intestino. Los coliformes fecales distintos a la Escherichia pueden provenir de aguas con alto contenido orgánico como efluentes industriales o suelo en descomposición.

Cerca de este punto del arroyo no existen asentamientos, es próximo a dos lagunas de retención (este y oeste) y está muy cerca del administrativo 1, el taller de llantas, el comedor, la planta de agua, oficinas de tecnologías y los centros de entrenamiento. A este arroyo le llegan vertimientos del lavado de equipos y llantas que pueden contener residuos de lubricantes con altos contenidos de sulfatos, además, cuando llueve, el material traído de la mina en las camionetas (como barro y polvo) es arrastrado desde los parqueaderos hasta verse de manera irregular al arroyo, estas pueden ser causales del elevado valor de estos parámetros durante el mes de enero del 2018.

El arroyo Tabaco aguas abajo, aunque cumple al no exceder los 400 mg de  $SO_4^{-2}/l$  estipulados en la norma, presenta un leve incremento de sulfatos (315 mg de  $SO_4^{-2}/l$ ) comparado con los demás puntos muestreados que presentan valores relativamente bajos. En general en todos los puntos muestreados, ambos parámetros (cloruros y sulfatos) no pasan de 50 mg/l, de ahí que dentro de los mapas la mayoría de puntos sean de color verde (señalando cumplimiento) y de un tamaño pequeño indicando bajas concentraciones. Esto se resume en la figura 96.

**Figura 96**  
*Comparación Cloruros y Sulfatos Enero 2018*



Los arroyos Tabaco y Cerrejón, en su curso aguas abajo, se encuentran ubicados cerca de los tajos Tabaco y Comuneros. En distancia próxima al arroyo Cerrejón se encuentra la Laguna Comuneros y Annex 2; por su parte, cerca del arroyo Tabaco se encuentra localizada la comunidad de Los Remedios, ver figura 97, corregimiento de Albania, aunque no está dentro del título minero sus límites son muy cercanos.

**Figura 97**

*Corregimiento Los Remedios, Albania- La Guajira*



El arroyo Tabaco nace en el municipio de Barrancas, zona de Caurina, según la población cercana en épocas de verano se seca casi por completo, la parte media de la microcuenca presenta ganadería extensiva con destrucción de bosque nativo para hacer los potreros que llegan hasta la orilla del río, además, hay desprotección forestal en la zona aledaña al cauce de agua según información del Plan de Desarrollo del municipio de Albania, La Guajira.

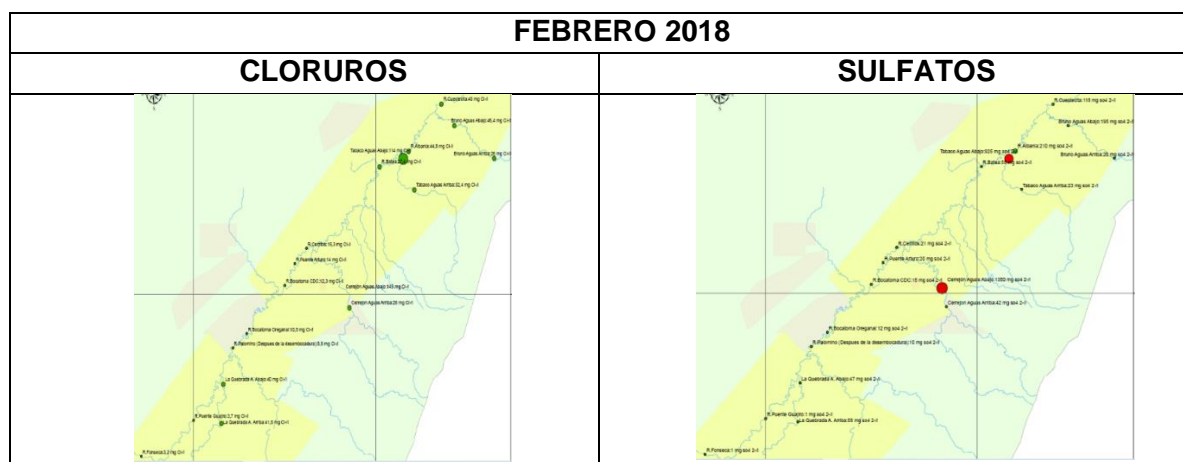
En el mes de febrero, ver figura 98, los valores de cloruros muestreados en los puntos cumplieron la normativa, específicamente no superaron el valor de  $114 \text{ mg SO}_4^{-2}/\text{l}$  (Arroyo Tabaco Aguas abajo), por eso, en la gráfica de la izquierda, el mapa indica puntos verdes de tamaño muy pequeño indicando bajas concentraciones. El menor valor de cloruros lo registran los puntos del Río Ranchería ubicados en Fonseca y en el Puente Guajiro con  $3,3 \text{ mg SO}_4^{-2}/\text{l}$  y  $3,7 \text{ mg SO}_4^{-2}/\text{l}$  respectivamente. En el mes de febrero no hubo registro de lluvias abundantes.

Con relación a los sulfatos, existen dos incumplimientos de la normativa en los puntos del arroyo Cerrejón Aguas abajo ( $1350 \text{ mg SO}_4^{-2}/\text{l}$ ) y el arroyo Tabaco aguas abajo ( $925 \text{ mg de SO}_4^{-2}/\text{l}$ ), cabe aclarar que los mismos arroyos Tabaco y Cerrejón monitoreados aguas arriba no presentan afectación. La calidad de agua del Río Ranchería tampoco se ve afectada ni existe incumplimiento de estas características evaluadas, un ejemplo de esto son los puntos Río 107 (Albania) y Río 106 (Batea) que presentan valores de sulfatos de  $210 \text{ mg SO}_4^{-2}/\text{l}$  y  $55 \text{ mg de SO}_4^{-2}/\text{l}$  respectivamente. Tanto el arroyo Tabaco aguas abajo, como el arroyo Cerrejón aguas abajo presentan valores elevados de conductividad ( $2890 \mu\text{S}/\text{cm}$  para el arroyo Cerrejón y  $2521 \mu\text{S}/\text{cm}$  para el arroyo Tabaco), calcio ( $64,83 \text{ mg Ca}/\text{l}$  para el arroyo Cerrejón y  $98,17 \text{ mg Ca}/\text{l}$  para el arroyo Tabaco), bajas concentraciones de magnesio ( $11,63 \text{ mg Mg}/\text{l}$  para el arroyo Cerrejón y  $6,60 \text{ mg Mg}/\text{l}$  para el arroyo Tabaco) y dureza ( $226 \text{ mg CaCO}_3/\text{l}$  para el arroyo Cerrejón y  $296 \text{ mg CaCO}_3/\text{l}$  para el arroyo Tabaco).

Los coliformes fecales indican, en estos dos puntos,  $30000 \text{ NPM}/100\text{m}/\text{L}$  para el arroyo Cerrejón y  $13000 \text{ NPM}/100\text{m}/\text{L}$  para el arroyo Tabaco; estos mismos valores se registran en coliformes totales ( $30000 \text{ NPM}/100\text{m}/\text{L}$  para el arroyo Cerrejón y  $13000 \text{ NPM}/100\text{m}/\text{L}$  para el arroyo Tabaco). La presencia de coliformes totales indica contaminación reciente microbiana y problemas de calidad de agua.

**Figura 98**

*Comparación Cloruros y Sulfatos Febrero 2018*



En marzo de 2018 se registran pocas lluvias, con respecto a los valores de cloruros, todos los puntos muestreados cumplen con la normativa de no superar el valor máximo de 250 mg de Cl/l, el arroyo Cerrejón Aguas abajo presenta el valor más alto (178 mg de Cl/l), de ahí que resalte un punto verde de mayor tamaño en la gráfica derecha, los demás puntos registran valores inferiores a los 50 mg de Cl/l. El arroyo Cerrejón Aguas abajo presenta valores de dureza total de 1130 mg CaCO<sub>3</sub>/L, este parámetro se asocia conforme a la concentración de sales de calcio y magnesio que se encuentran disueltas en agua (el calcio registra 109,9 mg Ca/l y el magnesio 191,4 mg Mg/l). Así mismo, el sodio indica 290,9 mg Na/l; valores de conductividad de 3126  $\mu$ S/cm proporcionales al valor de sólidos disueltos (2548 mg/l); sólidos totales de 2784 mg/l y sólidos suspendidos de 2548 mg/l, estos últimos son los responsables de la turbiedad (4,84 UNT) y pueden dar lugar a depósitos de lodo. Finalmente, coliformes fecales y totales con 24000 NPM/100m/L, ambos con el mismo valor, como puede verse en la imagen, cerca de este lugar no existen asentamientos, pero si se evidencia el suelo un poco erosionado cerca al cauce del arroyo, puede haber presencia de animales que incidan en la presencia de coliformes, incluso desechos en descomposición o aguas negras. La figura 99 indica la ubicación del punto.

**Figura 99**

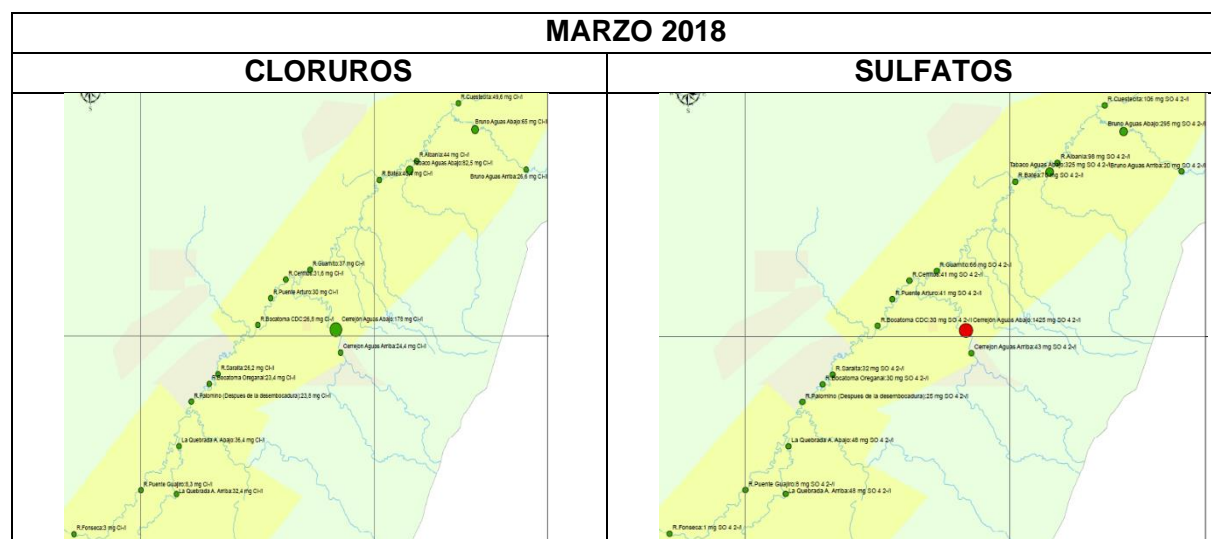
*Arroyo Cerrejón Aguas Abajo*



Se evidencian altos valores de sulfatos en el punto del arroyo Cerrejón Aguas abajo, ver figura 100, con un reporte de 1425 mg  $\text{SO}_4^{-2}/\text{l}$ , a comparación con el mes anterior (febrero) se presenta un incremento del valor y continúa incumpliendo la normativa. No obstante, en el mismo arroyo Cerrejón monitoreado aguas arriba no se presentan alteraciones en este parámetro registrando un valor de 325 mg  $\text{SO}_4^{-2}/\text{l}$ , tampoco se presentan incumplimientos sobre los puntos monitoreados en el río Ranchería. Como se observa en la imagen de la izquierda, los demás puntos presentan valores bajos de concentración de sulfatos que en su mayoría oscilan entre los 25 mg de  $\text{SO}_4^{-2}/\text{l}$  y 98 mg de  $\text{SO}_4^{-2}/\text{l}$ .

**Figura 100**

*Comparación Cloruros y Sulfatos Marzo 2018*



Abril sigue con un registro de bajas precipitaciones, respecto a los cloruros, los valores de muestreados sobre los diferentes puntos del Río y arroyos cumplen con la normativa ambiental vigente, sus registros no superan los 50 mg de  $\text{Cl}^{-}/\text{l}$ , con excepción del arroyo Cerrejón Aguas abajo (173 mg de  $\text{Cl}^{-}/\text{l}$ ) que presenta el valor más alto, además, se evidencia la misma tendencia desde el mes de febrero que indica que este punto, ubicado aguas abajo, registra el valor más representativo.

Con respecto a los sulfatos, nuevamente se destaca el arroyo Cerrejón Aguas Abajo que incumple los valores máximos permitidos con un registro de 1425 mg de  $\text{SO}_4^{-2}$ , este valor se mantiene comparado con el mes anterior. Los demás puntos registran inferiores a los 50 mg de  $\text{SO}_4^{-2}$ , a excepción del arroyo Bruno Aguas Abajo indica un valor de 305 mg de  $\text{SO}_4^{-2}/\text{l}$ . Los valores de conductividad del arroyo cerrejón aguas abajo son de 3150  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y de calcio registra valores de 139,1 mg  $\text{Ca}/\text{l}$ . Se aclara que, no existe afectación de calidad en el otro punto del mismo cauce del arroyo Cerrejón (aguas arriba), ni tampoco en los puntos del Río Ranchería, dando a entender que el flujo del agua disminuye las concentraciones y hace que



### Figura 102

*Ubicación Punto de Muestreo Arroyo Cerrejón Aguas abajo*



Comparando la ubicación del punto de muestreo del Arroyo Cerrejón (óvalo negro) frente a los títulos mineros (rojo), se evidencia que dentro de Cerrejón hay presencia de la compañía SAAB Maquinaria/ Bridge Coal Ltd o Caypa (Círculo Blanco) para la explotación de carbón, seguidamente se encuentra otro título de Carbones Colombianos del Cerrejón inscrito en 1997. Ver figura 103.

### Figura 103

*Arroyo Cerrejón y títulos mineros*



En mayo, con respecto a los cloruros existe un cumplimiento de la normativa, se mantiene la tendencia de los meses anteriores con valores inferiores a 50 mg de Cl/l y un valor máximo de 185 mg de Cl/l para el punto del Arroyo Cerrejón Aguas abajo.

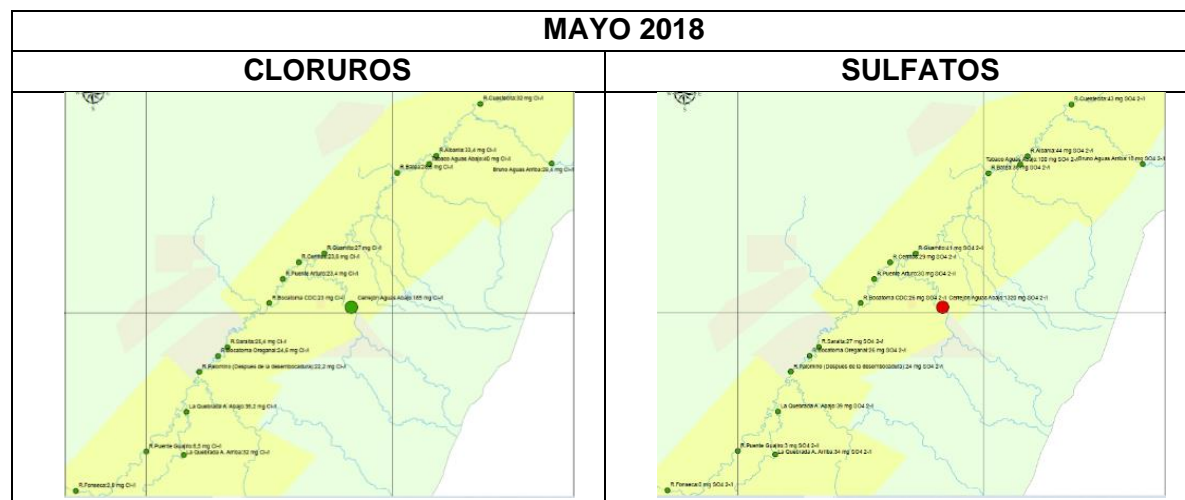
Con relación a los sulfatos, el arroyo Cerrejón Aguas abajo nuevamente presenta un incumplimiento de la norma con un valor de 1320 mg de  $\text{SO}_4^{-2}/\text{l}$ , se evidencia una disminución de concentración de sulfatos comparado con los meses anteriores. Los otros puntos muestreados indican registros inferiores a 50 mg de Cl/l. En estas zonas no existen asentamientos, ni fuentes externas, solamente la ubicación de los tajos, sus botaderos y lagunas que se ven afectados por la temporada de lluvias y el arrastre de material.

Durante este mes, el arroyo Cerrejón aguas abajo presenta un leve incremento de los valores de Sólidos disueltos (2626 mg/l) y de sólidos totales (2750 mg/l), paralelamente, la turbiedad aumenta en gran manera comparada con los registros anteriores (30 UNT) y conductividad de 3178  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Se obtiene una dureza total de 1120 mg  $\text{CaCO}_3/\text{L}$ , este parámetro se asocia a la concentración de Calcio (100,8 mg Ca/l) y Magnesio (150,09 mg Mg/l); y coliformes fecales y totales 300000 NPM/100m/L. En mayo se registran lluvias que

traen consigo arrastre de materiales, una de las posibles razones para que el arroyo siempre presente elevados estos parámetros puede ser el tipo de suelo que se encuentre alrededor, se dice que, mientras más caliza sea la piedra del terreno, mayor es la dureza del agua que a su vez incide en concentraciones de calcio y magnesio, aumentando la concentración de sulfatos. La figura 104 compara en el mes de mayo el registro de los puntos en cuanto a cloruros y sulfatos indicando si cumple o no la normativa con el color.

**Figura 104**

*Comparación Cloruros y Sulfatos Mayo 2018*



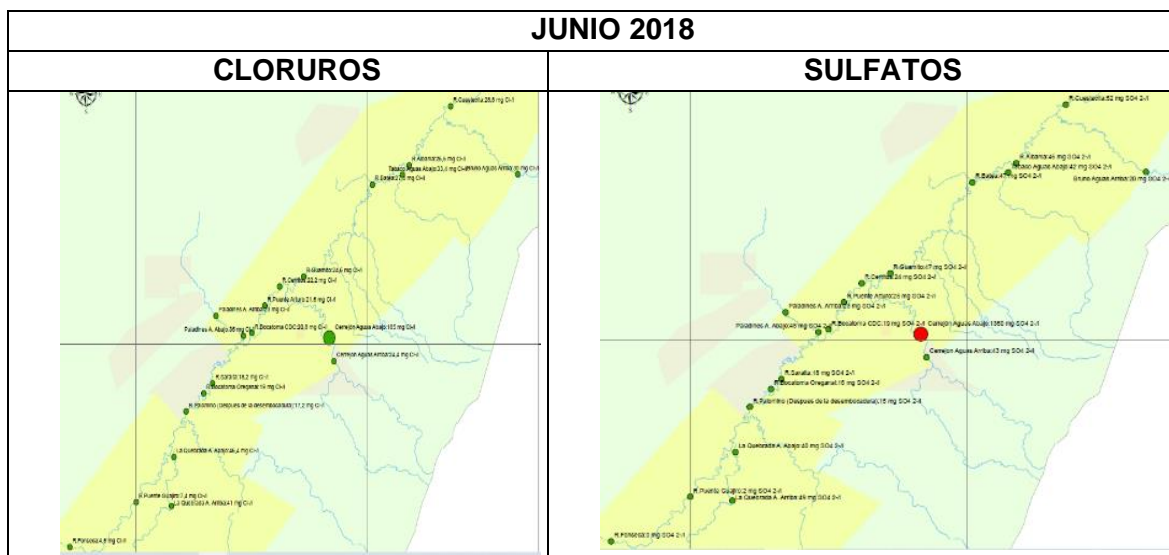
En junio sigue la misma tendencia, los cloruros cumplen la normativa con valores inferiores a 50 mg Cl/l, a diferencia del arroyo Cerrejón Aguas abajo que posee el valor más alto (185 mg Cl/l). En los sulfatos, el Arroyo Cerrejón Aguas abajo sigue incumpliendo las normativas, existe un leve aumento de los valores registrados indicando 1350 mg SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>/l, los demás puntos registran valores inferiores a 50 mg SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>/l cumpliendo la normativa máxima permisible de 400 mg SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>/l. Como sucede desde el mes de febrero, la afectación solo se hace en el flujo aguas abajo del arroyo Cerrejón y no tiene influencia sobre el flujo aguas arriba ni sobre el río Ranchería.

El registro del arroyo Cerrejón Aguas abajo de Sólidos totales es de 2698 mg/l, por su parte, los sólidos disueltos que son la suma de minerales, metales y sales, indican un valor de 2564 mg/l, por esta razón se tendrán registros elevados de sodio y magnesio. La Dureza total es de 1310 mg CaCO<sub>3</sub>/L, el Sodio señala una concentración de 318,9 mg Na/l y el Magnesio 161,91mg Mg/l; la presencia del magnesio es común en minerales como dolomita y magnesita, también en el agua salada (cabe recordar que anteriormente esta zona era un gran océano y que se algunos suelos conservan propiedades inherentes), así mismo, proviene de fertilizantes y alimento de ganado, actividades del entorno que indirectamente afectan la calidad de agua. Los coliformes fecales aumentan a 50000 NPM/100m/L y coliformes totales a 160000 NPM/100m/L, aunque la mayoría de estas bacterias coliformes no causen enfermedad, indican que la calidad del agua está en riesgo señalando la presencia de patógenos, incluso puede

indicarse la presencia de contaminación de materia fecal o vertimientos en el curso del agua superficial. No se evidencia registro de lluvias abundantes. La figura 105 compara en el mes de junio el registro de los puntos en cuanto a cloruros y sulfatos indicando si cumple o no la normativa con el color.

**Figura 105**

*Comparación Cloruros y Sulfatos Junio 2018*

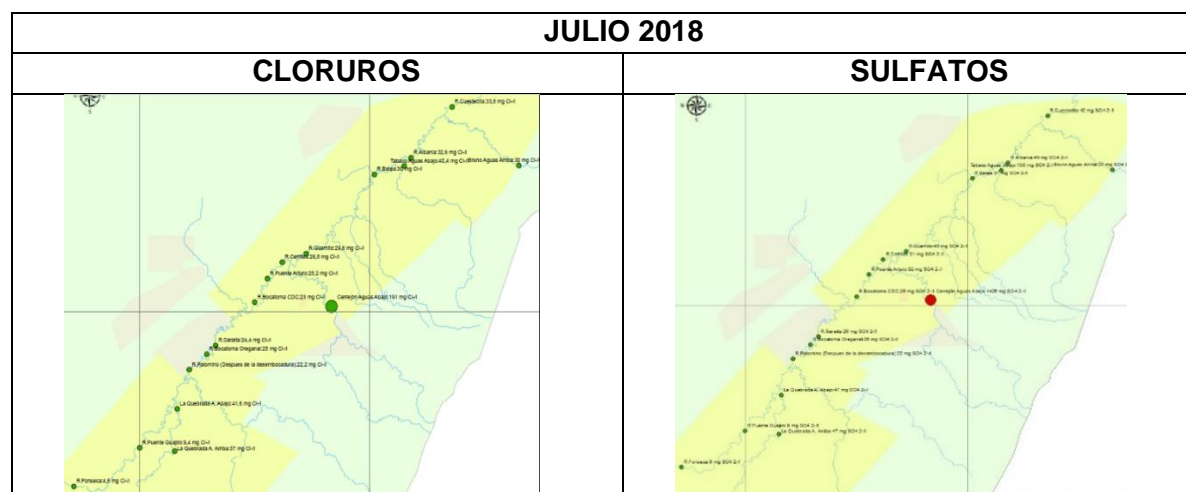


En el mes de julio los cloruros se mantienen con su tendencia de valores inferiores a 50 mg Cl<sup>-</sup>/l para la mayoría de los lugares muestreados, el valor más alto es de 191 mg Cl<sup>-</sup>/l para el Arroyo Cerrejón Aguas abajo. Ver figura 106.

Con relación a los sulfatos, registran el mismo comportamiento de valores inferiores a 50 mg SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>/l, y un incremento en el Arroyo Cerrejón aguas abajo de 1425 mg SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>/l, este valor no cumple la normativa y mantiene su tendencia desde el mes de febrero. Los registros del arroyo Cerrejón Aguas abajo son: Sólidos totales 2808 mg/l, sólidos disueltos 2684 mg/l, Dureza total 1260 mg CaCO<sub>3</sub>/L, Sodio 347,2 mg Na/l, calcio 112,5 mg Ca/l, coliformes fecales y totales 24000 NPM/100m/L. A comparación con el mes anterior, disminuye la concentración de coliformes, calcio y dureza, pero aumentan los sólidos disueltos y sodio, esto puede asociarse al registro de precipitaciones presentado en el transcurso del mes (Estación Cerrejón 382 mm y Tajo Sur 52,5 mm), fenómeno que trae consigo un lavado de suelos. Se presenta una turbiedad de 14,4 UNT.

Figura 106

Comparación Cloruros y Sulfatos Julio 2018



En agosto continúan las lluvias y se mantiene la tendencia de cumplimiento de cloruros en los puntos muestreados, existen dos puntos de relevancia por ser los más elevados, el arroyo Cerrejón aguas abajo con un valor de 182 mg Cl<sup>-</sup>/l (menos que el mes anterior) y el arroyo Tabaco aguas abajo (108 mg Cl<sup>-</sup>/l). Los demás lugares muestreados mantienen un valor menor a 50 mg Cl<sup>-</sup>/l cumpliendo la normativa. Esta misma tendencia se ve desde el mes de febrero.

Para el parámetro de sulfatos 16 de los 18 puntos muestreados cumplen la normativa, incluso registran valores inferiores a 50 mg SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>/l, los dos puntos que sobrepasan los valores máximos permitidos son el arroyo Cerrejón aguas abajo (1164 mg SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>/l) y el arroyo Tabaco Aguas abajo (1819 mg SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>/l). Los puntos de interés evaluados sobre el Río Ranchería no presentan una alteración de sus parámetros.

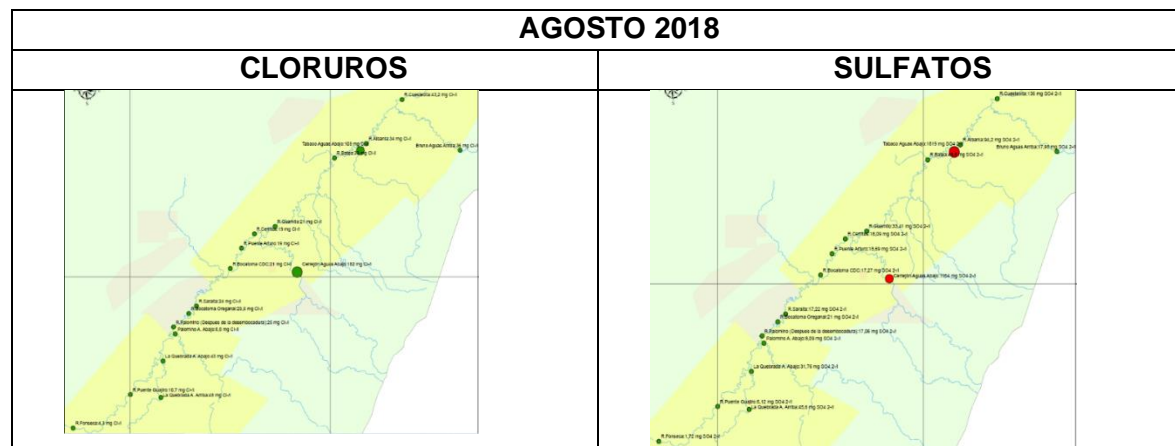
Los registros del arroyo Cerrejón Aguas abajo son: Sólidos totales 2416 mg/l, sólidos disueltos 2242 mg/l, conductividad 3028 µS/cm, Dureza total 925 mg CaCO<sub>3</sub>/L, Sodio 309,9 mg Na/l, calcio 109 mg Ca/l, coliformes fecales y totales 24000 NPM/100m/L. Comparado con el mes anterior hay una disminución de sólidos disueltos, conductividad, dureza, sodio y calcio; los coliformes se mantienen y aumentan los sólidos suspendidos, proporcional al aumento en la turbiedad (18,2 UNT).

Los registros del arroyo Tabaco Aguas abajo son: Sólidos totales 2916 mg/l, sólidos disueltos 2682 mg/l, Dureza total 670 mg CaCO<sub>3</sub>/L, conductividad 3802 µS/cm, Sodio 147,4 mg Na/l, calcio 81,73 mg Ca/l, coliformes fecales 30000 NPM/100m/L y coliformes totales 16000 NPM/100m/L. Este punto tiene más concentración de Sulfatos, comparado con el punto del Arroyo anterior, aumentan los valores de sólidos totales, disueltos, conductividad y turbiedad (68,10 UNT); el sulfato es uno de los principales compuestos disueltos de la lluvia, esta puede ser una razón de los altos valores de este factor, además, que se estén presentando valores elevados de turbiedad que a su vez tiene repercusión en la cantidad de sólidos. La figura 107

compara en el mes de agosto el registro de los puntos en cuanto a cloruros y sulfatos indicando si cumple o no la normativa con el color.

**Figura 107**

*Comparación Cloruros y Sulfatos Agosto 2018*

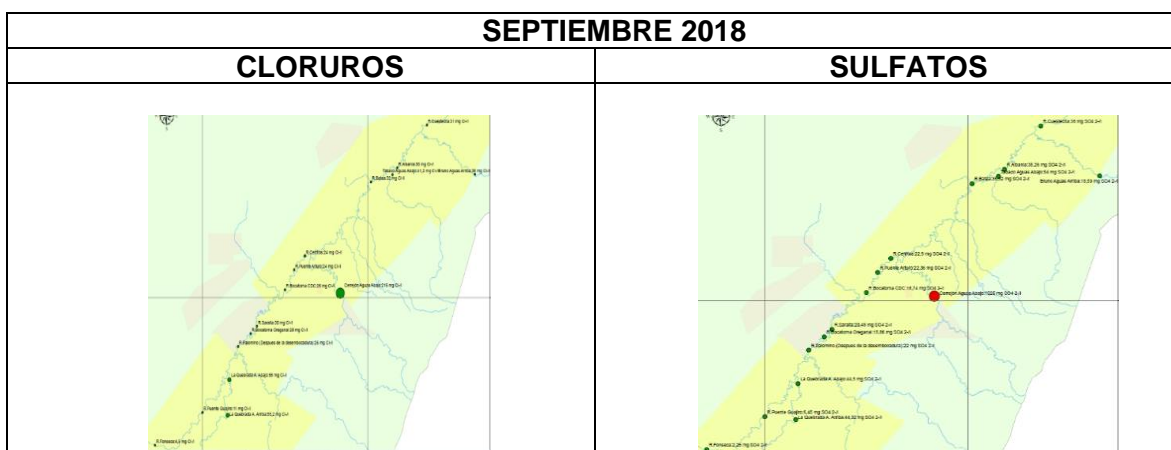


En el mes de septiembre continúan las lluvias y la tendencia que se mantiene desde febrero de cumplir los valores máximos de cloruros en todos los puntos muestreados con valores inferiores a 60 mg Cl<sup>-</sup>/l, resalta el valor del Arroyo Cerrejón Aguas abajo que indica 216 mg Cl<sup>-</sup>/l pero que cumple la normativa. Con respecto a los sulfatos 15 de 16 puntos muestreados presentan valores inferiores a 55 mg SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>/l, nuevamente el arroyo Cerrejón Aguas abajo presenta un incremento notorio, e incumplimiento del parámetro, con 1025 mg de SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>/l, se evidencia una leve disminución comparado con el mes anterior, además que, el arroyo Tabaco disminuyó su concentración de iones de sulfatos y cloruros. Durante estos meses se evidencia que, el punto con mayor contenido de cloruros (así cumplan la normativa) va a tener el mayor contenido de sulfatos. Ver figura 108.

Los registros del arroyo Cerrejón Aguas abajo son: Sólidos totales 2084 mg/l, sólidos disueltos 2000 mg/l, Dureza total 776 mg CaCO<sub>3</sub>/L, conductividad 2636 µS/cm, Sodio 278,14 mg Na/l, calcio 97,79 mg Ca/l, coliformes fecales y totales 24000 NPM/100m/L, todos estos parámetros disminuyeron respecto al mes anterior. Se incluyen los ensayos relacionados a color real con valor de 5,6 m<sup>-1</sup>. El color, aunque es un parámetro organoléptico, indica el estado de calidad de agua y se asocia a las partículas disueltas y en suspensión que puedan contenerse, medirlo ayuda a conocer el nivel de materia orgánica presente de manera natural. Su presencia se debe también a la presencia de ciertos metales o sustancias húmicas disueltos o suspendidos; existen dos clasificaciones, el color real depende del agua y sus sustancias disueltas, el color aparente incluye además partículas en suspensión causantes de la turbidez. Aunque en este mes se registran más lluvias comparado con agosto, al recibir más precipitación se aumenta el caudal, así como la cantidad de sólidos que pueden disolverse en el agua.

**Figura 108**

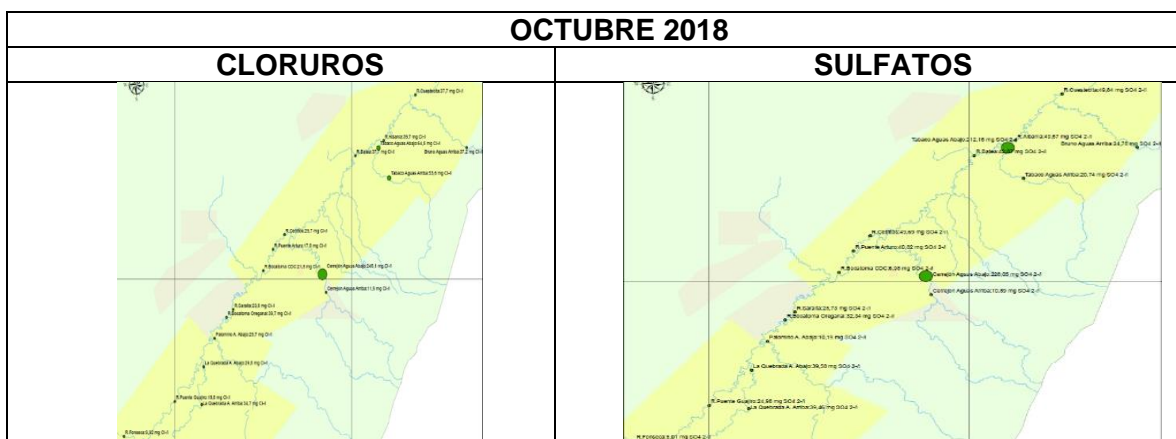
*Comparación Cloruros y Sulfatos Septiembre 2018*



En octubre hay cumplimiento completo de ambos parámetros, tanto cloruros como sulfatos disminuyen considerablemente sus valores. Con respecto a los cloruros los puntos de muestreo indican valores inferiores a 64 mg Cl/l y el arroyo Cerrejón Aguas abajo presenta el valor más alto (248,1 mg Cl/l) muy cerca al límite máximo permisible. Con respecto a los sulfatos, el arroyo Cerrejón aguas abajo que durante el año registró un incumplimiento por sus altos valores de concentración, indicó un valor de 228,05 mg de  $SO_4^{-2}/l$ , indicando que toda la fuente hídrica se encuentra en buen estado. Cabe aclarar que en este mes se registró gran cantidad de lluvia. A nivel general, los coliformes presentaron una cantidad muy baja en todos los puntos, así como la cantidad de sólidos; la concentración más alta de Sodio, Magnesio y Dureza se registró en el arroyo Tabaco (147,97 mg Na/l, 18,16 mg Mg/l y 264 mg  $CaCO_3/L$  respectivamente). La figura 109 compara en el mes de octubre el registro de los puntos en cuanto a cloruros y sulfatos indicando si cumple o no la normativa con el color. Se evidencian todos los puntos verdes garantizando el cumplimiento de los valores máximos permisibles.

**Figura 109**

*Comparación Cloruros y Sulfatos Octubre 2018*



En el mes de noviembre hay un cambio en la tendencia en cuanto a los cloruros y sulfatos. Primeramente, los cloruros, ya no indican las mayores concentraciones en la parte inferior del Río Ranchería (arroyo Cerrejón aguas abajo), su mayor valor se ubica en el punto del arroyo aguas blancas (179 mg Cl/l), aun así, todos los puntos muestreados cumplen la normativa permitida de consumo, es notorio aclarar que el punto del arroyo cerrejón aguas abajo que durante el año se mantuvo en valores elevados disminuye considerablemente.

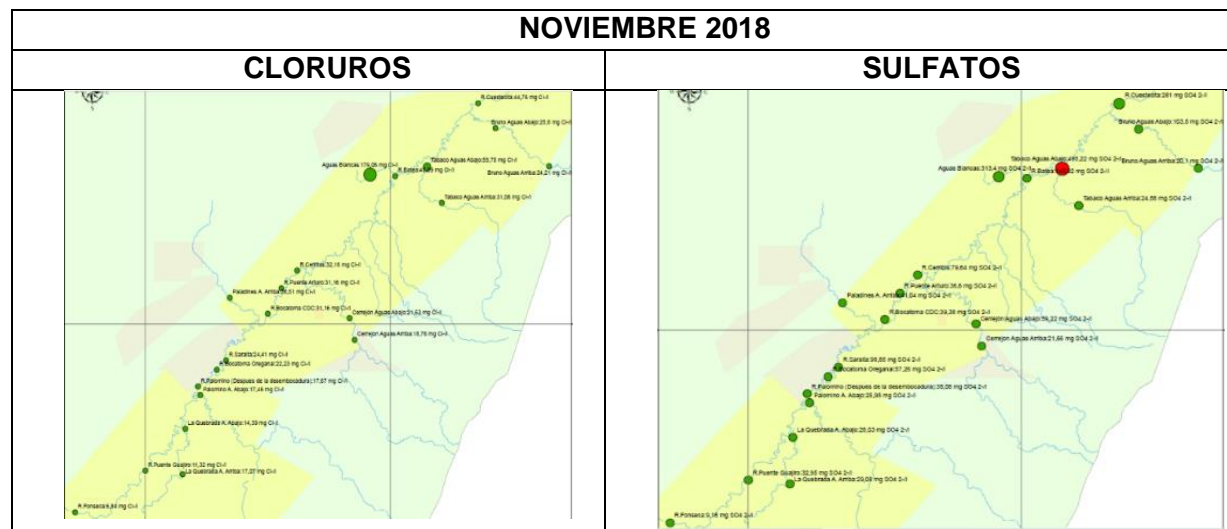
Los sulfatos vuelven nuevamente elevarse, el arroyo Tabaco Aguas abajo excede la normativa presentando un aumento con un valor de 495,22 mg de SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>/l, cerca de él se ubican los puntos R106 sobre el Río Ranchería que indica valores de 148,92 mg de SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>/l, y el arroyo Aguas blancas (313,4 mg de SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>/l), ambos cumplen el Decreto en vigencia. Los sulfatos pueden asociarse con la contaminación antropogénica, cerca del arroyo se encuentra la población de Los Remedios, donde no se realiza seguimiento, sin embargo, una incorrecta disposición de residuos o vertimientos no autorizados pueden afectar la calidad del recurso. Por otra parte, en este mes también se registraron lluvias, aunque en menor intensidad, un factor que incide en el arrastre de material.

Con respecto a este arroyo, presenta contenidos de sólidos disueltos de 1024 mg/l y sólidos totales de 1442 mg/l, dureza de 336,3 mg CaCO<sub>3</sub>/L y sodio 185,76 mg Na/l. Los valores de coliformes totales y fecales fueron de 49000 NPM/100m/l, indicando presencia de contaminación y baja calidad.

La figura 110 compara en el mes de noviembre el registro de los puntos en cuanto a cloruros y sulfatos indicando si cumple o no la normativa con el color.

**Figura 110**

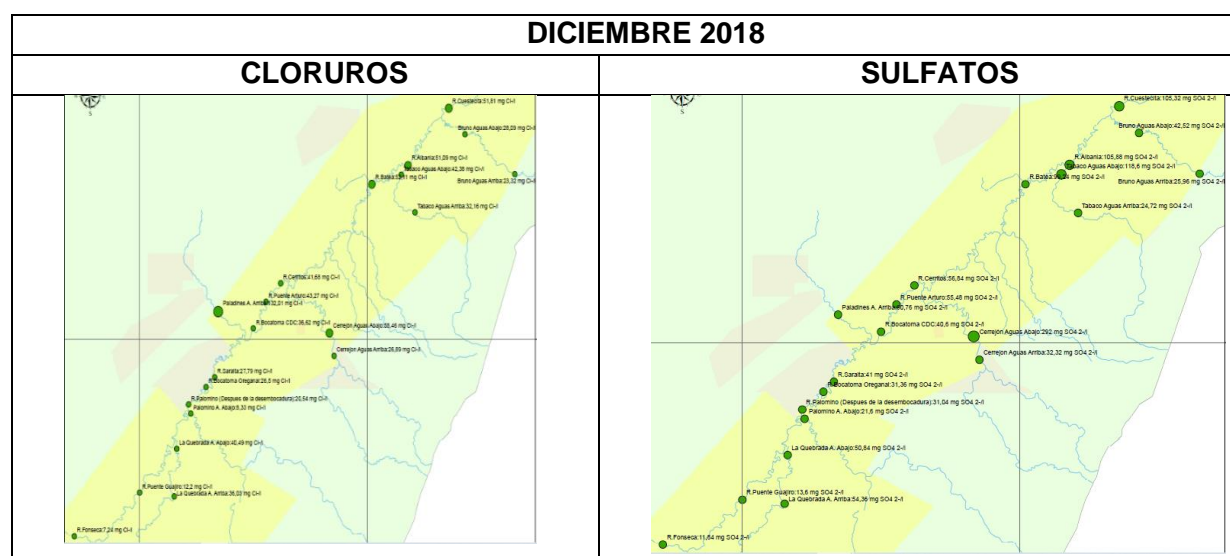
*Comparación Cloruros y Sulfatos Noviembre 2018*



En diciembre no se registraron lluvias, los parámetros de cloruros y sulfatos cumplen con los valores permisibles, ocurre un movimiento en cuanto al punto que presenta el valor más alto de cloruros, durante este mes es el arroyo Paladines Aguas Arriba que presenta un valor de 132,01 mg Cl/l mientras que los demás puntos indican valores inferiores a 50 mg Cl/l. Los sulfatos también cumplen la normativa establecida, el mayor valor vuelve nuevamente al punto ubicado en el arroyo Cerrejón Aguas Abajo (118,6 mg de  $\text{SO}_4^{-2}/\text{l}$ ), no tiene influencia sobre el río ni sobre su curso aguas arriba ya que no se ve afectada su calidad con parámetros irregulares. Los valores registrados de sulfatos en los demás puntos oscilan entre 11,84 y 99,24 mg de  $\text{SO}_4^{-2}/\text{l}$ . Ver figura 111.

**Figura 111**

*Comparación Cloruros y Sulfatos Diciembre 2018*



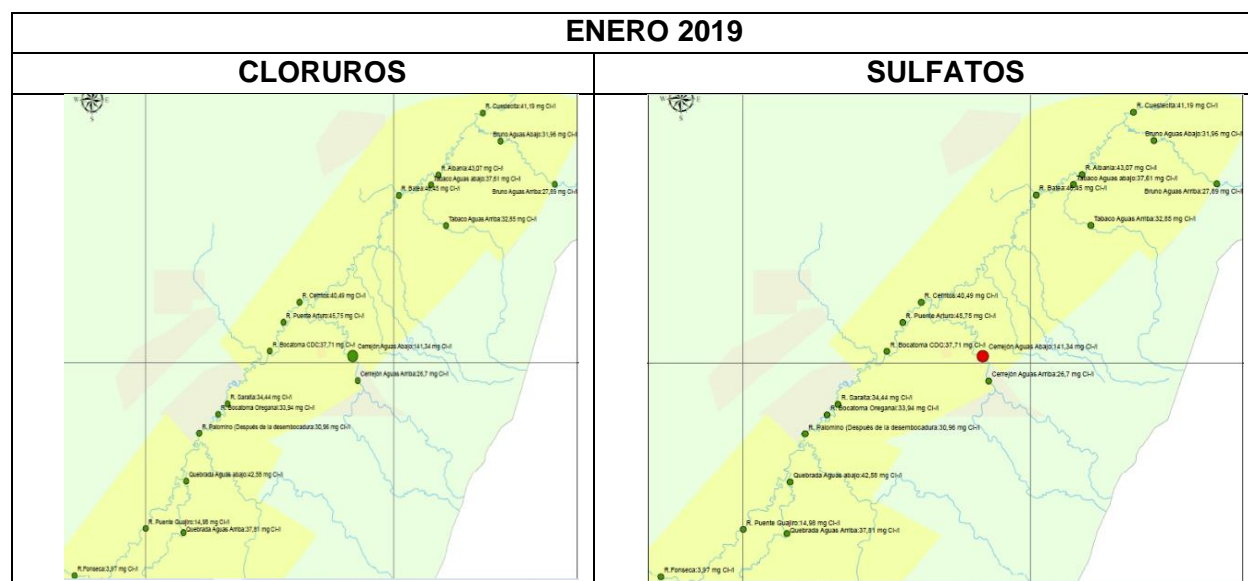
**Año 2019.** El primer trimestre del año 2019 continúa con el fenómeno del niño, no se registran lluvias durante el mes de enero, además, comienza con un cumplimiento de los valores de cloruros con valores inferiores a 50 mg Cl/l en 18 de los 19 lugares monitoreados, el valor más elevado de cloruros se encuentra en el arroyo Cerrejón Aguas abajo (141,34 mg Cl/l), aunque cumple su normativa regresa nuevamente la tendencia que marcó el año anterior. Esta leve concentración de cloruros trae consigo el aumento de sulfatos en el mismo arroyo, para este mes no cumple la normativa excediéndose en un valor de 720 mg de  $\text{SO}_4^{-2}/\text{l}$ , aunque no es un valor elevado comparado con los meses anteriores es significativo ya que, en el mes de diciembre de 2018, aunque había un valor elevado, no excedía los 400 mg de  $\text{SO}_4^{-2}/\text{l}$  permitidos.

La elaboración del mapa nos indica que la afectación solamente es en esta zona y que no existe influencia en los demás tramos del arroyo ni en el Río Ranchería, los registros del arroyo Cerrejón Aguas abajo en cuanto a parámetros de sólidos disueltos (1540 mg/l), sólidos totales (1654 mg/l), magnesio (58,27 mg Mg/l), calcio (81,85 mg Ca/l) y sodio (52,46 mg Na/l) son bajos; presenta una dureza total de 660,6 mg  $\text{CaCO}_3/\text{L}$  y conductividad de 1994  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ;

aunque las concentraciones de sales de calcio y magnesio disueltas en agua sean bajas, el valor de dureza es elevado, además, la dureza es un componente del agua que genera conductividad, de ahí que su valor también sea alto a pesar que se diga que la conductividad es directamente proporcional a la concentración de sólidos disueltos. La figura 112 compara en el mes de enero el registro de los puntos en cuanto a cloruros y sulfatos indicando si cumple o no la normativa con el color.

**Figura 112**

*Comparación Cloruros y Sulfatos Enero 2019*



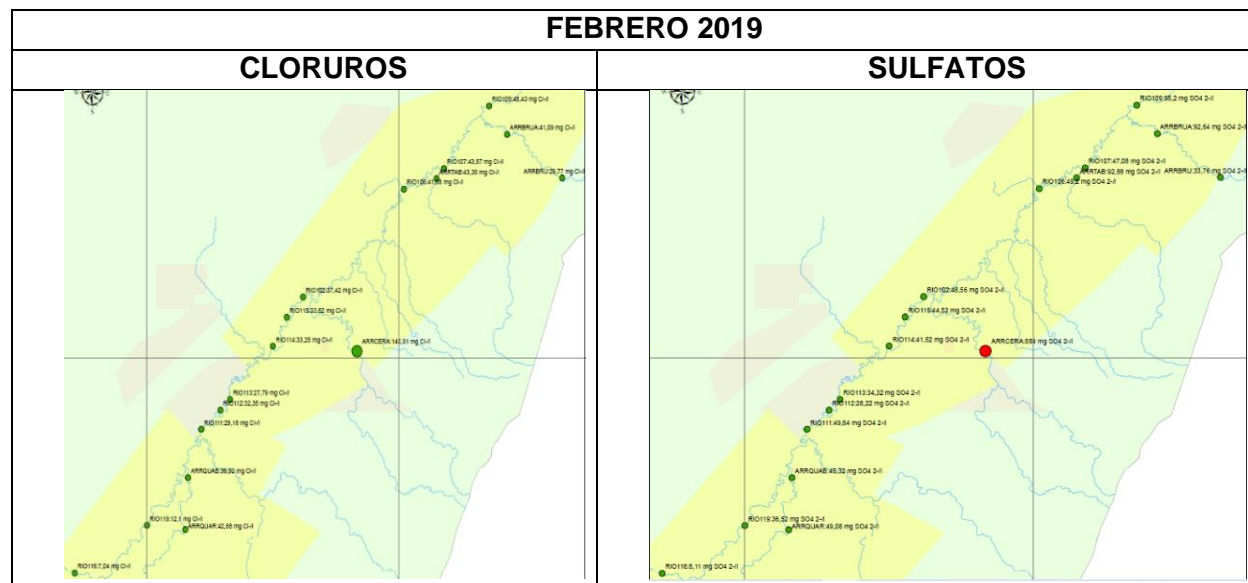
En el mes de febrero no se presentan lluvias y se mantienen las condiciones del mes anterior, los cloruros no superan el valor máximo permisible de 250 mg Cl/l (el valor más elevado lo registra nuevamente el arroyo Cerrejón aguas abajo 145,91 mg Cl/l). Los valores de sulfatos también cumplen la normativa en la mayoría de puntos muestreados a excepción del Arroyo Cerrejón aguas abajo que indica un valor de 584 mg de  $\text{SO}_4^{2-}$ /l, a comparación con el mes de enero se ve una disminución de concentraciones de este ion sulfato, pero un aumento de dureza (635,57 mg  $\text{CaCO}_3$ /L) y conductividad (2012 uS/cm), las concentraciones de calcio y magnesio son bajas, así como coliformes y color. Ver figura 113.

La dureza se relaciona a los minerales que contiene el agua, cuanto más minerales se encuentren disueltos más dureza se presenta, se asocia en particular a las sales de magnesio y calcio que se presentan de formaciones geológicas que tienen contacto con el agua. Se aclara nuevamente que este punto del arroyo Cerrejón se encuentra entre las lagunas de Retención de Comuneros y la Laguna Annex 2, así como también es cercano a tajos de operaciones mineras tanto de la empresa Cerrejón como de empresas Externas, esto es importante porque las aguas de minería "ARM" son caracterizadas por ser ácidas y contener diversos minerales asociados a la formación de carbón, por esta razón tienen alta

conductividad; la presencia de piritita en los mantos de carbón hace que disminuya el pH pero que exista más disolución y por ende es un causante de subir las concentraciones.

**Figura 113**

*Comparación Cloruros y Sulfatos Febrero 2019*



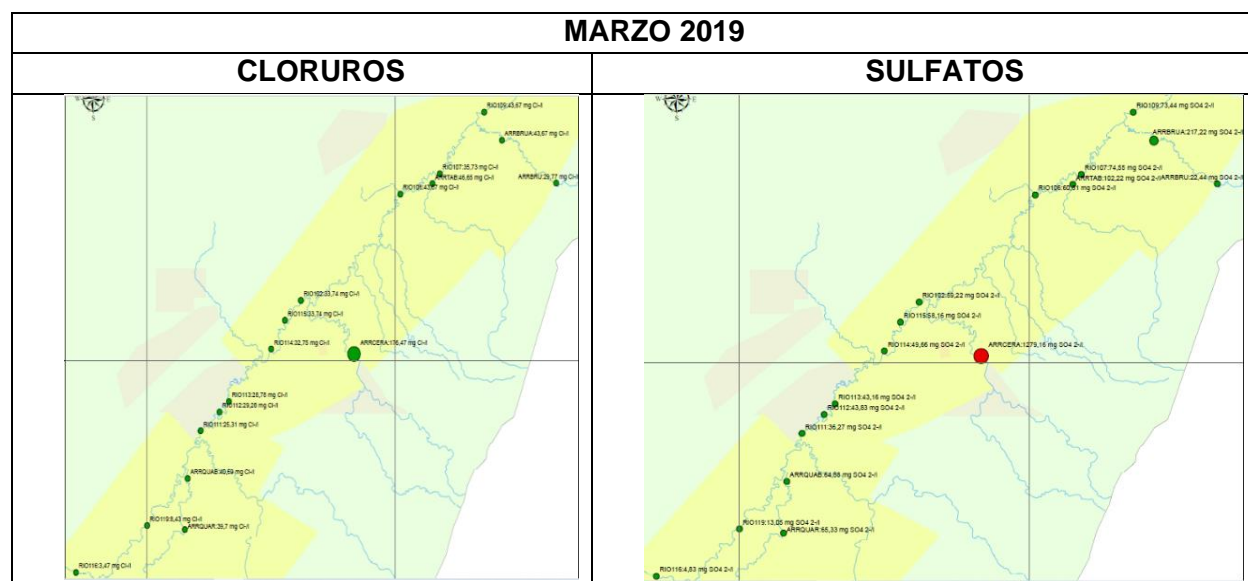
La figura 114 indica el mes de Marzo, el último mes de la incidencia del fenómeno natural del niño, registra pocas lluvias. Los cloruros cumplen su normativa con valores inferiores a 46,25 mg Cl/l, a excepción del arroyo Cerrejón Aguas abajo (176,47 mg Cl/l) que presenta un leve aumento comparado con el mes de febrero.

Los sulfatos por su parte se disparan en el arroyo Cerrejón aguas abajo con un registro de 1279,16 mg de  $\text{SO}_4^{2-}/\text{l}$ , los otros 16 puntos evaluados si cumplen los parámetros establecidos en el Decreto vigente. Aunque este valor no influye en los demás puntos del río, en este arroyo se observa un incremento en la cantidad de sólidos disueltos 1896 mg/l y sólidos totales 1902 mg/l, así como dureza total (770,7 mg  $\text{CaCO}_3/\text{L}$ ), conductividad (2449  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), calcio (99,94 mg  $\text{Ca}/\text{l}$ ) y magnesio (85 mg  $\text{Mg}/\text{l}$ ) y sodio (404,44 mg  $\text{Na}/\text{l}$ ) comparados con el mes anterior; los coliformes totales presentan valores bajos de 20 NPM/100 ml.

De forma natural, los ríos transportan sales que se hallan en las rocas disueltas del entorno, las actividades humanas pueden verter a las fuentes hídricas y causar salinización del agua, sin embargo, son las actividades mineras las que más sales aportan a los ríos, pues los botaderos de escombros al estar al aire libre y recibir lluvia arrastran material alterando el ecosistema. Además, las sales también pueden acumularse en sedimentos salinizando el suelo cercano a la fuente hídrica, todo esto alterando la conductividad y parámetros que influyen entre sí, como es el caso de la dureza, el calcio y el magnesio.

Figura 114

Comparación Cloruros y Sulfatos Marzo 2019



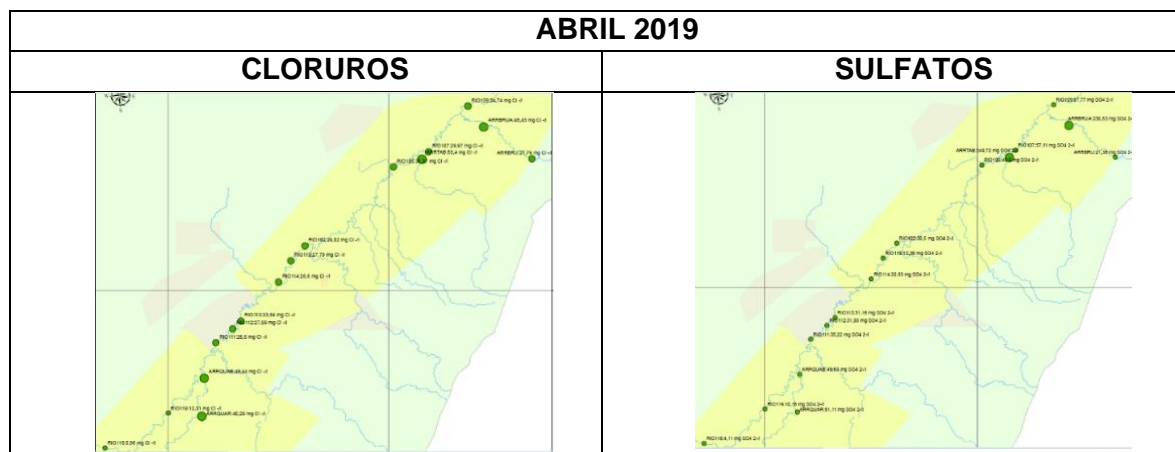
Para el mes de abril no hay registro de lluvias abundantes, los parámetros de cloruros y sulfatos cumplen la normativa, los valores disminuyen considerablemente y cambian las zonas con los valores más representativos. Los cloruros registran valores inferiores a 55 mg Cl/l en la mayoría de puntos muestreados, los valores más altos se registran en el Arroyo Tabaco (53,4 mg Cl/l), arroyo Bruno aguas abajo (48,43 mg Cl/l) y el arroyo La Quebrada aguas abajo (48,44 mg Cl/l), sin embargo, cumplen muy por debajo el valor máximo permitido que es 250 mg Cl/l.

Con respecto a los sulfatos los valores oscilan entre 4,11 mg de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>/l y 249,72 mg de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>/l, este último valor (el más elevado) se ubica en el arroyo Tabaco aguas abajo, seguido del arroyo Bruno Aguas abajo (230,83 mg de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>/l), estos valores también cumplen el valor máximo permisible que es 400 mg de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>/l.

El mayor valor de dureza y sodio lo registra el arroyo Tabaco aguas abajo (300,27 mg CaCO<sub>3</sub>/l y 125,71 mg Na/l respectivamente), y de calcio el arroyo Bruno aguas abajo (93,34 mg Ca/l); el valor de turbiedad es muy bajo, al igual que las concentraciones de magnesio, coliformes y color. La figura 115 compara en el mes de abril el registro de los puntos en cuanto a cloruros y sulfatos indicando si cumple o no la normativa con el color.

**Figura 115**

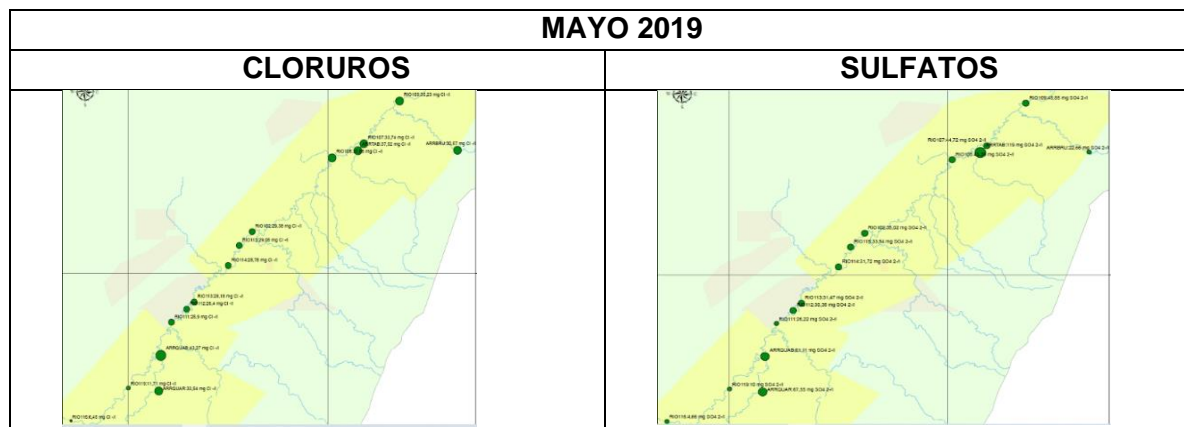
*Comparación Cloruros y Sulfatos Abril 2019*



En el mes de mayo hay un registro medio de precipitación, continua el cumplimiento de los parámetros, esta vez se presenta una disminución notoria comparada con el mes de abril, por ejemplo, los valores de cloruros en sus 15 muestras no superan el valor de 50 mg Cl/l, el máximo valor se ubica en el arroyo la Quebrada Aguas abajo (43,27 mg Cl/l). Para los sulfatos los valores no superan el registro de 119 mg de  $SO_4^{-2}/l$  (Arroyo Tabaco aguas abajo) y 67,55 mg de  $SO_4^{-2}/l$  (Arroyo Quebrada Aguas Arriba). El color verde del mapa indica el buen estado de la calidad hídrica dentro del área de la mina Cerrejón y su no influencia en la contaminación del agua tras su paso por la mina. El mayor valor de dureza lo registra el arroyo Tabaco aguas abajo (284,25 mg  $CaCO_3/l$ ); los componentes de sólidos, conductividad, magnesio, calcio, sodio, coliformes y color registran valores bajos. La figura 116 compara en el mes de mayo el registro de los puntos en cuanto a cloruros y sulfatos indicando si cumple o no la normativa con el color. Los puntos verdes indican el cumplimiento de los parámetros estudiados.

**Figura 116**

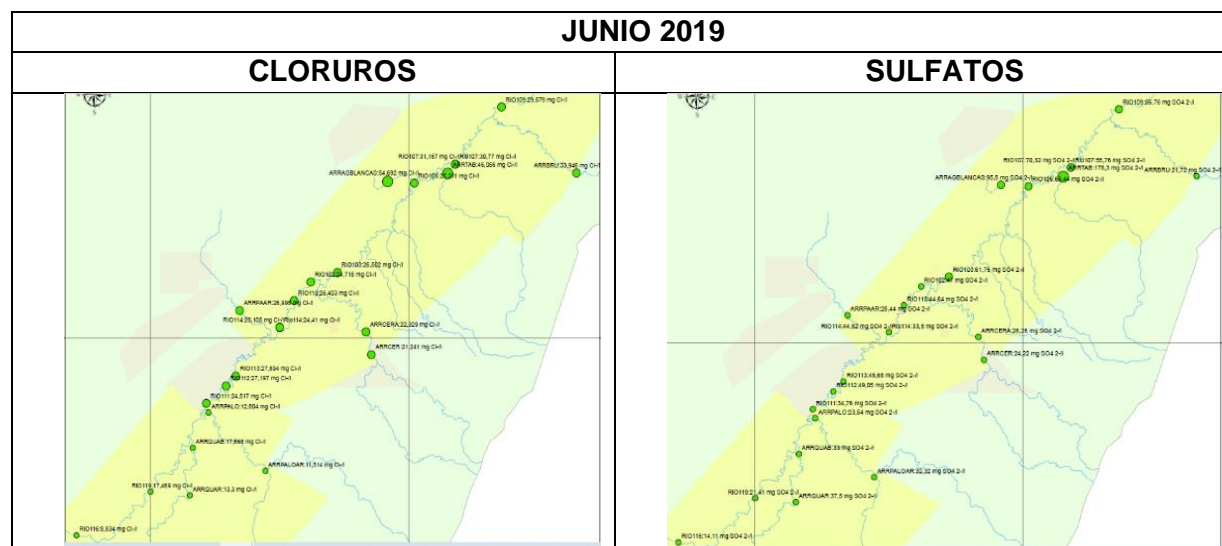
*Comparación Cloruros y Sulfatos Mayo 2019*



El mes de junio se presenta precipitación, nuevamente cumple con las normativas de cloruros y sulfatos. Los 24 parámetros muestreados indican que los cloruros no superan el valor de 54,692 mg Cl<sup>-</sup>/l (registrado en el arroyo Aguas Blancas), seguido del valor 46,056 mg Cl<sup>-</sup>/l del arroyo Tabaco Aguas abajo. Los sulfatos, aunque presentan un leve aumento, no superan el valor de 178,3 mg de SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>/l evidenciado en el arroyo Tabaco aguas abajo. Las tipologías en verde evidencian el buen estado del recurso hídrico. El mayor valor de dureza y calcio lo registra el arroyo Aguas blancas (308,28 mg de CaCO<sub>3</sub>/l y 112 mg de Ca/l, respectivamente) y de conductividad el arroyo Tabaco (778,4 uS/cm). Los valores de magnesio, sodio y color presentan bajas concentraciones. El arroyo Quebrada aguas abajo y palomino registra coliformes totales de 33000 NMP/100 ml. Ver figura 117.

**Figura 117**

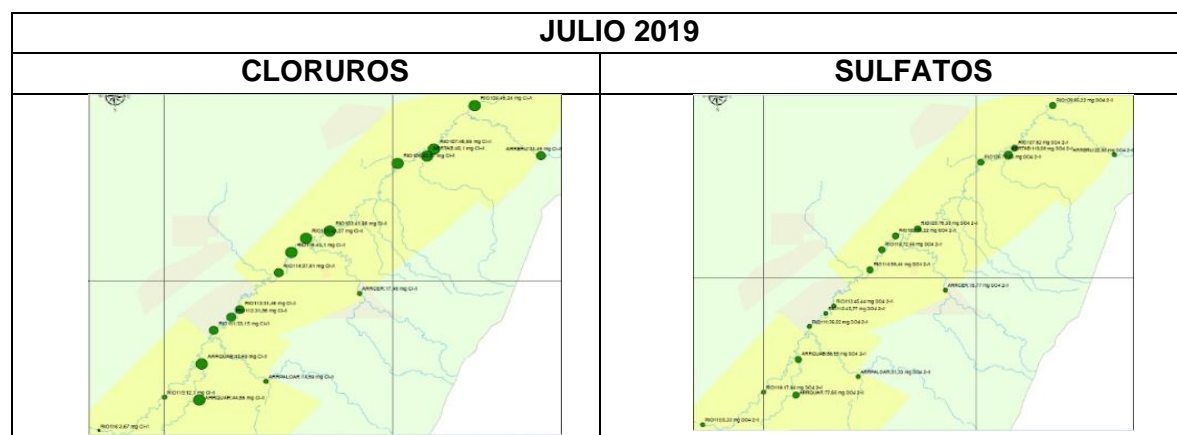
*Comparación Cloruros y Sulfatos Junio 2019*



En el mes de julio del 2019 también hay registro de lluvia, sigue la tendencia a cumplir la normativa relacionada a los parámetros de cloruros y sulfatos, incluso se logra ver que entre sí son más similares con valores próximos. Nuevamente el máximo valor de cloruros no supera los 50 mg Cl<sup>-</sup>/l, los registros se agrupan según el tamaño del círculo (rangos entre 40 y 50 mg/l). Para el caso de los sulfatos existe una disminución de los registros comparados con el mes de junio, en este caso los valores no superan el dato de 119,88 mg de SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>/l en el Arroyo Tabaco Aguas abajo. El mayor valor de dureza lo registra el arroyo Bruno Aguas arriba y Palomino Aguas arriba (208,18 mg CaCO<sub>3</sub>/L) y de conductividad el arroyo Quebrada aguas arriba (761,8 uS/cm). Ver figura 118.

**Figura 118**

*Comparación Cloruros y Sulfatos Julio 2019*

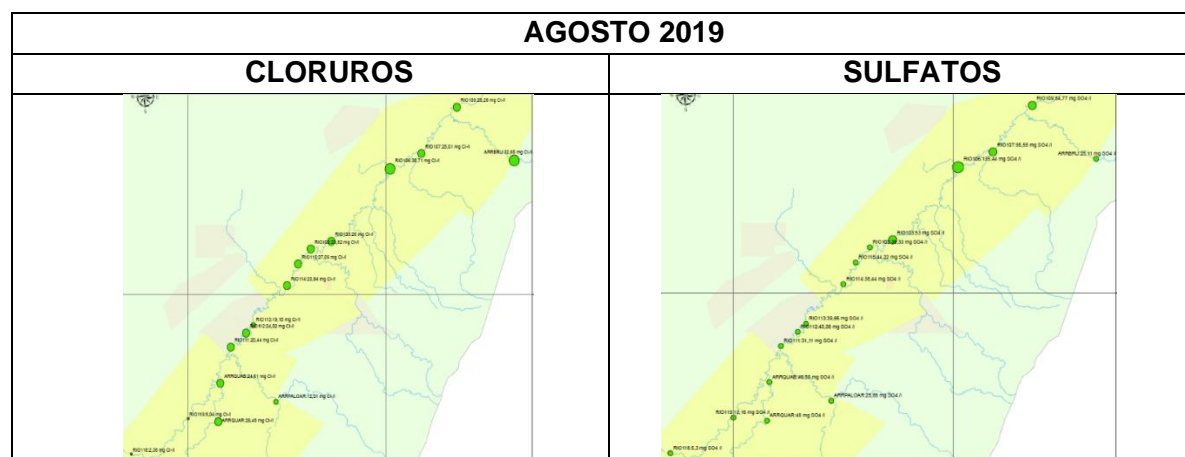


El mes de agosto registra lluvias y un cumplimiento de ambos parámetros, el mapa evidencia que la fuente hídrica se vuelve más homogénea registrando datos similares entre sí. Para el caso de los cloruros los valores disminuyeron notablemente, se registra un valor máximo de 38,71 mg Cl⁻/l sobre el Río 106 (punto ubicado sobre el río Ranchería) y el arroyo Bruno aguas arriba (32,65 mg Cl⁻/l). Los demás parámetros, en su mayoría, oscilan en un rango de 20 mg Cl⁻/l a 30 mg Cl⁻/l. El valor máximo de sulfatos se registra sobre el punto RIO 106 (135,44 mg de SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>/l), los otros 15 parámetros están en el rango de 30 mg de SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>/l a 40 mg de SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>/l. El mayor valor de dureza lo registra el arroyo Palomino Aguas arriba (281,95 mg CaCO<sub>3</sub>/L), de conductividad el arroyo Quebrada Aguas abajo (576,8 uS/cm).

La figura 119 compara en el mes de agosto el registro de los puntos en cuanto a cloruros y sulfatos indicando si cumple o no la normativa con el color.

**Figura 119**

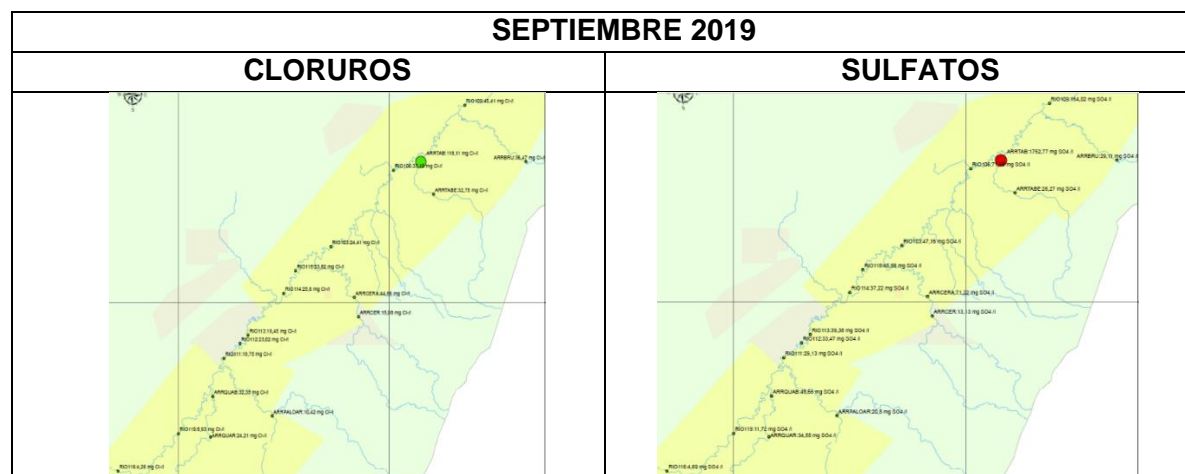
*Comparación Cloruros y Sulfatos Agosto 2019*



En la figura 120, septiembre presenta más precipitaciones y evidencia un cumplimiento del Decreto en vigencia en cuanto a cloruros, puede evidenciarse que los valores aumentaron especialmente en la zona noreste del río ranchería y que en la parte inferior se mantiene un nivel más bajo en cuanto a la concentración de este ion. El arroyo Tabaco aguas abajo indica el valor más elevado (118,11 mg Cl<sup>-</sup>/l), los 17 puntos distribuidos en 2 bloques poseen rangos de 4 mg Cl<sup>-</sup>/l a 20 mg Cl<sup>-</sup>/l y de 20 mg Cl<sup>-</sup>/l a 40 mg Cl<sup>-</sup>/l. En cuanto a los sulfatos se evidencia una homogeneidad mayor de los valores que va hasta los 100 mg de SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>/l, pero registra un incumplimiento al exceder el valor máximo permitido, el Arroyo Tabaco Aguas Abajo indica una concentración de 1752,77 mg de SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>/l, este arroyo es caracterizado por mantener concentraciones elevadas en el transcurso del año 2018. El mayor valor de dureza, conductividad y sodio lo registra el arroyo Tabaco aguas abajo (524,47 mg CaCO<sub>3</sub>/l, 2760 uS/cm y 377 mg Na/l); y de calcio el arroyo Quebrada aguas abajo (219 mg Ca/l).

**Figura 120**

*Comparación Cloruros y Sulfatos Septiembre 2019*



En el mes de octubre, figura 121, hay precipitación, nuevamente se cumplen los valores relacionados a cloruro, se registra el mayor valor en el arroyo Tabaco Aguas abajo (60,54 mg Cl<sup>-</sup>/l) y en al Arroyo aguas Blancas (44,26 mg Cl<sup>-</sup>/l), estos arroyos se encuentran en sentidos opuestos divididos por el Río Ranchería, se resalta que el punto de muestreo dentro de estos dos puntos no presenta alteraciones.

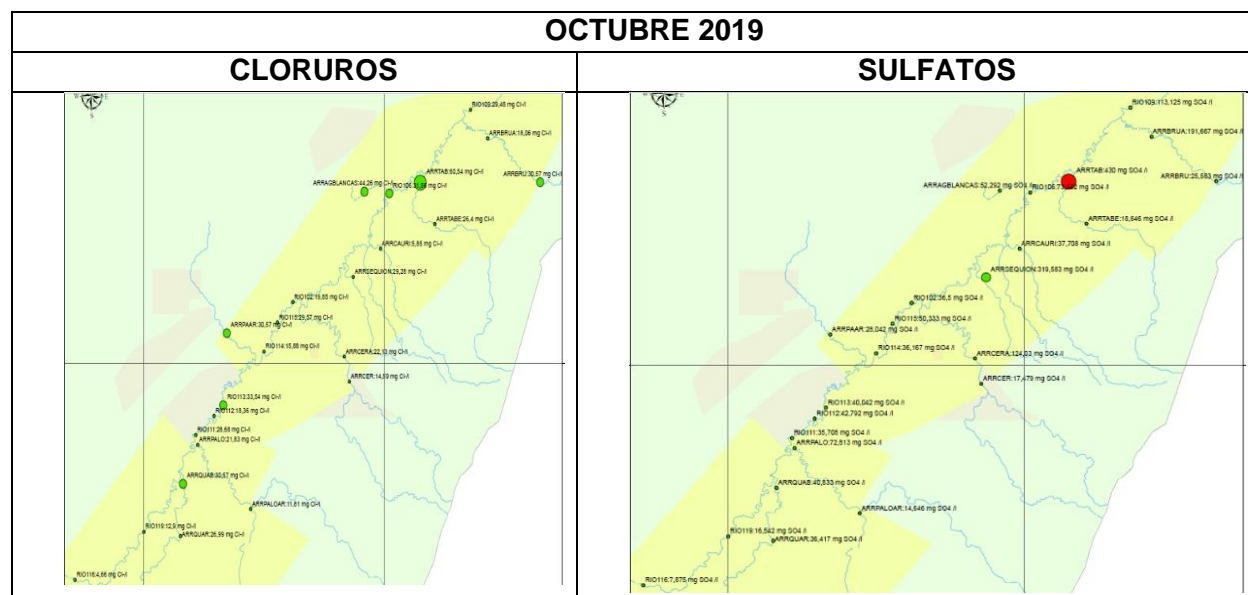
Los sulfatos incumplen de manera leve el valor máximo permitido, el arroyo Tabaco aguas abajo muestra un valor de 430 mg de SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>/l y disminuye de manera considerada comparado con el mes anterior. Nuevamente se evidencia que las fuentes hídricas se pueden dividir en dos bloques, la zona este con valores que van desde los 250 mg de SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>/l a los 400 mg de SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>/l, y la zona oeste desde 7 mg de SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>/l hasta 250 mg de SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>/l.

El mayor valor de alcalinidad se encuentra en el punto del arroyo Palomino Aguas arriba (269 mg CaCO<sub>3</sub>/l), dureza total, conductividad y sodio en el arroyo Tabaco aguas abajo

(409,57 mg CaCO<sub>3</sub>/l, 1817 uS/cm y 197 mg Na/l). Los parámetros de sólidos, color, calcio y magnesio son bajos en todos los puntos. El mayor valor de coliformes totales se encuentra en el arroyo Palomino Aguas Arriba (920000 NMP/100 mL).

**Figura 121**

*Comparación Cloruros y Sulfatos Octubre 2019*



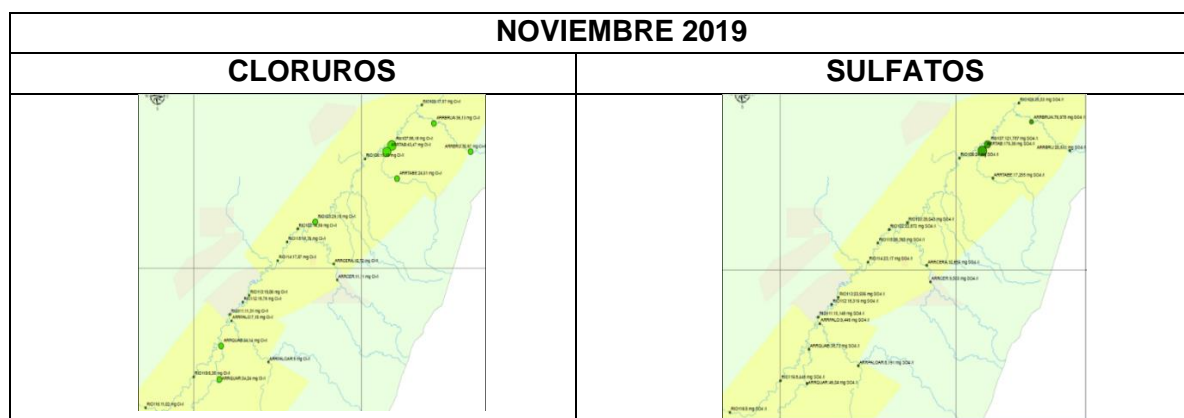
En el mes de noviembre disminuyen las lluvias, se cumple completamente los parámetros de cloruros y sulfatos. En el análisis de cloruros se evidencia el valor máximo registrado en el arroyo Tabaco aguas abajo (43,47 mg Cl/l) seguido de los valores del arroyo La Quebrada aguas arriba (34,24 mg Cl/l) y aguas abajo (34,14 mg Cl/l), se evidencia un valor constante a lo largo de este arroyo.

Por otra parte, los valores de sulfatos disminuyen respecto al mes anterior, el valor más elevado es 179,36 mg de SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>/l, en el arroyo Tabaco aguas abajo seguido por 121,787 mg de SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>/l registrado por el RIO 107 (Albania) y 46,06 mg de SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>/l, registrados por el arroyo La Quebrada aguas arriba.

El mayor valor de alcalinidad, dureza y conductividad lo presenta el arroyo Tabaco aguas abajo (260 mg CaCO<sub>3</sub>/l, 305,48 mg CaCO<sub>3</sub>/L y 1028 uS/cm). Los parámetros de sólidos, calcio, magnesio, sodio y color registran bajas concentraciones en todos los puntos. El mayor valor de coliformes totales se registra en el arroyo Tabaco Aguas arriba con un valor de 630000 NMP/1000 ml y coliformes fecales 460000 NMP/100 ml. Ver figura 122.

**Figura 122**

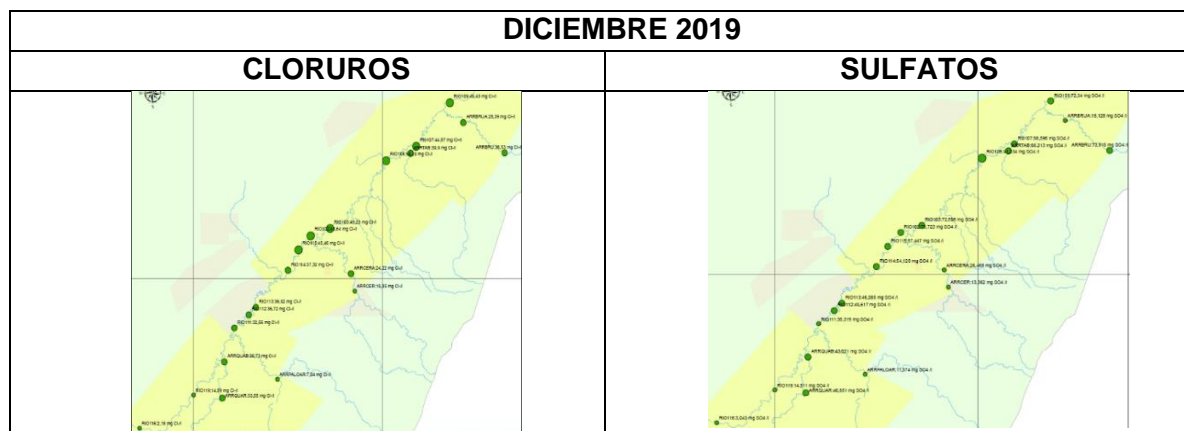
*Comparación Cloruros y Sulfatos Noviembre 2019*



El último mes del año termina sin lluvias y cumpliendo la normativa en cuanto a valores de cloruros y sulfatos. Los mayores valores de cloruros se registran en la zona nor-este y oscilan entre los 40 mg Cl/l y 50 mg Cl/l, el valor más alto es registrado por el RIO 106 (Batea, cerca al arroyo Aguas Blancas). A su vez, los valores de sulfato siguen disminuyendo obteniendo valores máximos de 91,234 mg de  $\text{SO}_4^{2-}$ /l en el RIO 106, seguidos de 46,851 mg de  $\text{SO}_4^{2-}$ /reportados por el arroyo La Quebrada Aguas arriba. El mayor valor de alcalinidad, conductividad está en el arroyo Quebrada Aguas arriba (247 mg  $\text{CaCO}_3$ /l; 731,7 uS/cm) y dureza en el punto del arroyo Tabaco aguas abajo (285,86 mg  $\text{CaCO}_3$ /l). Los demás parámetros de sólidos, calcio, magnesio, sodio, color se encuentran en bajas concentraciones en los puntos muestreados. El mayor valor de coliformes totales se registra en el arroyo Quebrada Aguas arriba (33000 NMP/100 ml). La figura 123 compara en el mes de diciembre el registro de los puntos en cuanto a cloruros y sulfatos indicando si cumple o no la normativa con el color.

**Figura 123**

*Comparación Cloruros y Sulfatos Diciembre 2019*



**Año 2020.** El año 2020 se pronostica con el fenómeno de la niña, además es un año no muy común por el inicio de la pandemia COVID-19 en Colombia. El mes de enero registra lluvias en baja cantidad, comienza cumpliendo los valores máximos permisibles de cloruros y sulfatos. En el caso de los cloruros se ve un mapa muy parejo en cuanto al rango de los valores que predominan sobre la cuenca dentro de Cerrejón, estos valores están en el rango de 20 mg Cl<sup>-</sup>/l a 30 mg Cl<sup>-</sup>/l, el valor máximo es 47,04 mg Cl<sup>-</sup>/l registrado por el arroyo Palomino aguas arriba.

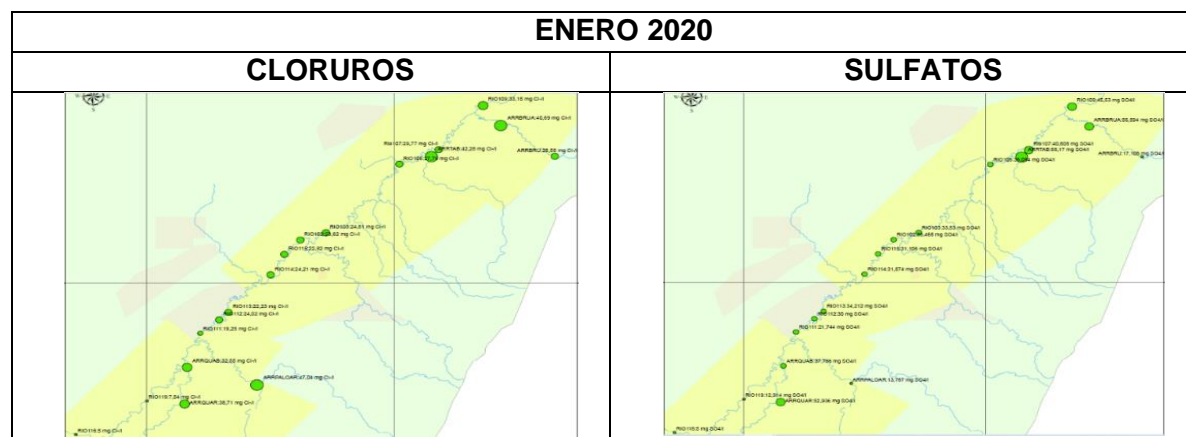
Con relación a los sulfatos se evidencian tres rangos predominantes, el primero en la parte baja (izquierda inferior) entre 20 mg de SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>/l y 30 mg de SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>/l, el segundo ubicado en la mitad de la zona entre 30 mg de SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>/l y 40 mg de SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>/l, y el tercero en la parte superior con valores más elevados que van desde los 40 mg de SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>/l a 70 mg de SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>/l. El valor más elevado se registra en el arroyo Tabaco aguas abajo (68,17 mg de SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>/l).

En el arroyo Bruno tanto aguas arriba como aguas abajo registran temperaturas superiores a los 28°C, este componente puede afectar la vida de organismos acuáticos, intervenir en procesos de reproducción de especies, causar daños a fauna y flora e incrementar el crecimiento de bacterias, también afectar la solubilidad (menor solubilidad, mayor temperatura), la cantidad de oxígeno disuelto, conductividad y pH.

La figura 124 compara en el mes de enero el registro de los puntos en cuanto a cloruros y sulfatos indicando si cumple o no la normativa con el color.

### Figura 124

*Comparación Cloruros y Sulfatos Enero 2020*

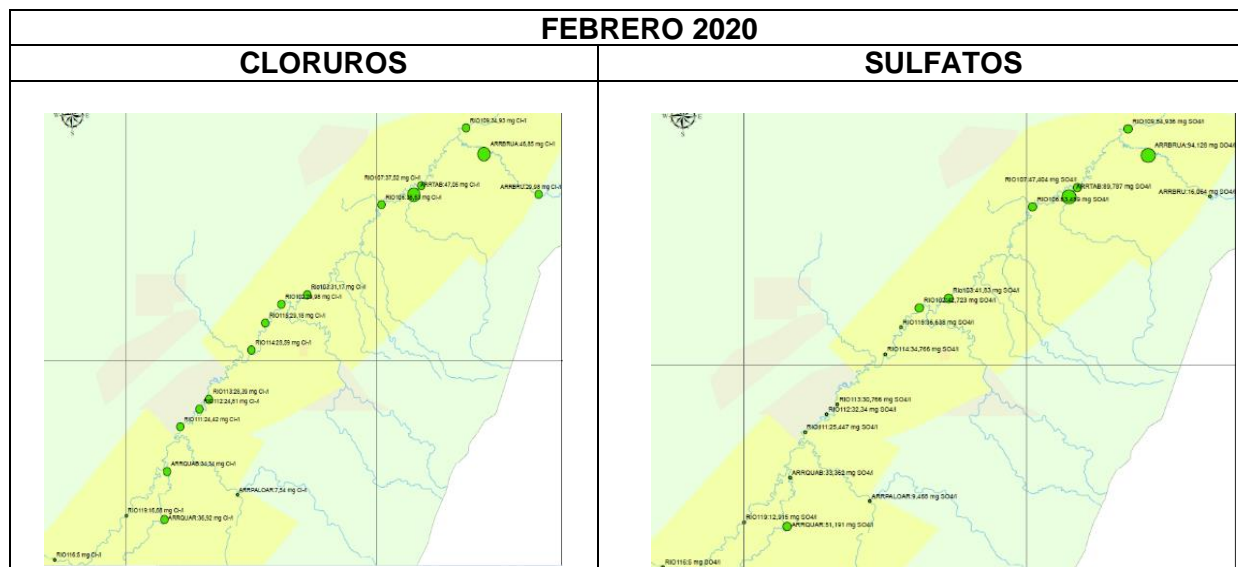


En el mes de febrero, figura 125, continua el cumplimiento de las leyes vigentes, esto se confirma con el color verde de los mapas. Los cloruros se ven caracterizados en 3 zonas, la parte baja (20-30 mg de mg Cl<sup>-</sup>/l), media (30-40 mg de mg Cl<sup>-</sup>/l) y alta (que comprende el Arroyo Tabaco y el Arroyo Bruno), el máximo valor se registra en la parte alta en el arroyo Tabaco aguas abajo (47,05 mg de mg Cl<sup>-</sup>/l) seguido del Arroyo Bruno aguas abajo (46,85 mg de mg Cl<sup>-</sup>/l)

En los sulfatos, los rangos se vuelven más variables dentro de la zona, pero siguen siendo muy bajos, el máximo valor es 94,128 mg de  $SO_4^{-2}/l$  y se registra en el Arroyo Bruno Aguas abajo. Finalmente, en el mes de febrero se registra un incendio forestal sobre el Arroyo Sequión hacia el antiguo Roche, esto puede causar alteraciones en los parámetros de Calidad de Agua.

**Figura 125**

*Comparación Cloruros y Sulfatos Febrero 2020*

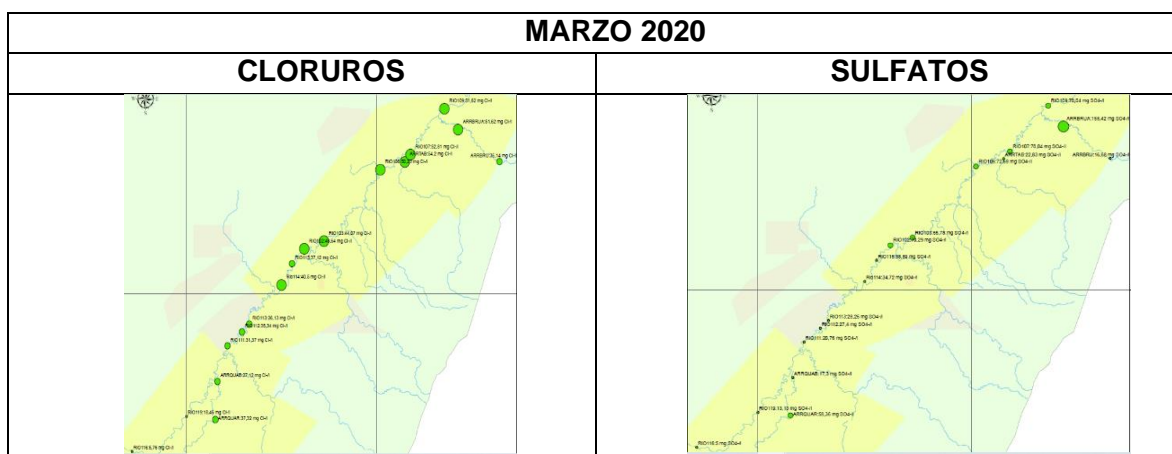


En el mes de marzo se mantiene el cumplimiento y las características de la tipología del mes anterior, los cloruros siguen evidenciando las tres zonas con un crecimiento en la zona alta, es decir, los parámetros están un poco más elevados que en el mes de febrero, el máximo valor registrado es 52,81 mg Cl/l en la ubicación RIO 107 (Albania) así como en el Arroyo Tabaco aguas abajo (54,2 mg Cl/l) y el arroyo Bruno aguas abajo (51,62 mg Cl/l). Ver figura 126.

En los sulfatos se visualiza más homogeneidad, en la parte baja se encuentran los valores con menor concentración, y va aumentando a medida que va ubicándose en dirección norte, el máximo valor se encuentra en el Arroyo Bruno aguas abajo (155,42 mg de  $SO_4^{-2}/l$ ) No hay registro de lluvia.

**Figura 126**

*Comparación Cloruros y Sulfatos Marzo 2020*



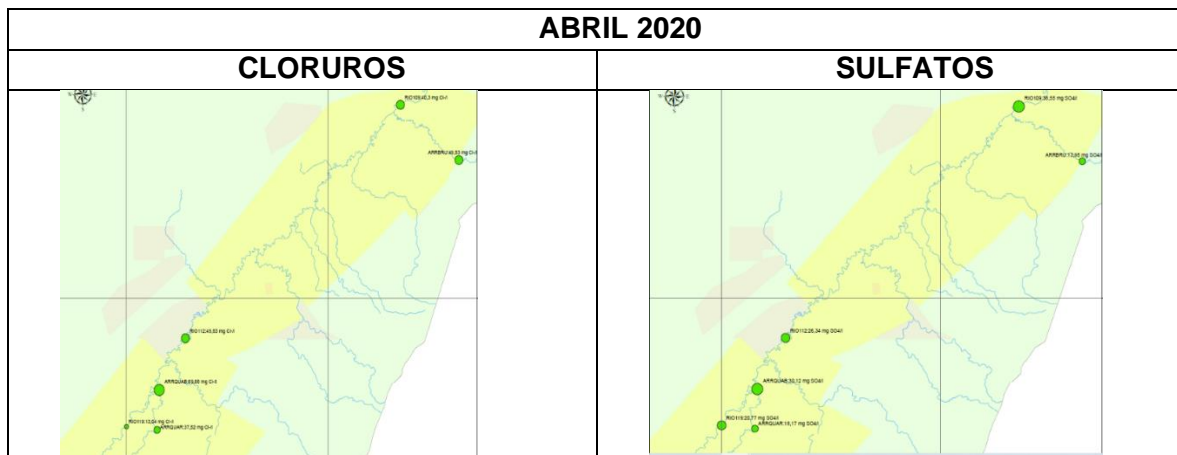
En el mes de abril fue donde menos se registraron puntos de muestreo (6), esto debido a la pandemia COVID-19 que impedía la presencialidad con motivos de evitar el contagio, sin embargo, los mapas muestran más homogeneidad y continuidad en el cumplimiento del decreto en vigencia.

En los cloruros se evidencia el valor más elevado en los puntos del arroyo La Quebrada aguas abajo y RIO 112 (Bocatoma Oreganal) con valores de 69,88 mg Cl<sup>-</sup>/l y 49,83 mg Cl<sup>-</sup>/l respectivamente. Con relación a los sulfatos, los valores son muy homogéneos en todas las zonas evaluadas, no exceden los 38,55 mg de SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>/l indicados en el RIO 109 (Cuestecita).

La figura 127 compara en el mes de abril el registro de los puntos en cuanto a cloruros y sulfatos indicando si cumple o no la normativa con el color.

**Figura 127**

*Comparación Cloruros y Sulfatos Abril 2020*



En el mes de mayo no hubo registros ni monitoreos, ver figura 128, de ningún punto ya que por motivos externos de COVID y huelgas la compañía no permitió el ingreso durante este mes. En este mes se registra un incendio cerca al arroyo Paladines.

**Figura 128**

*Comparación Cloruros y Sulfatos Mayo 2020*

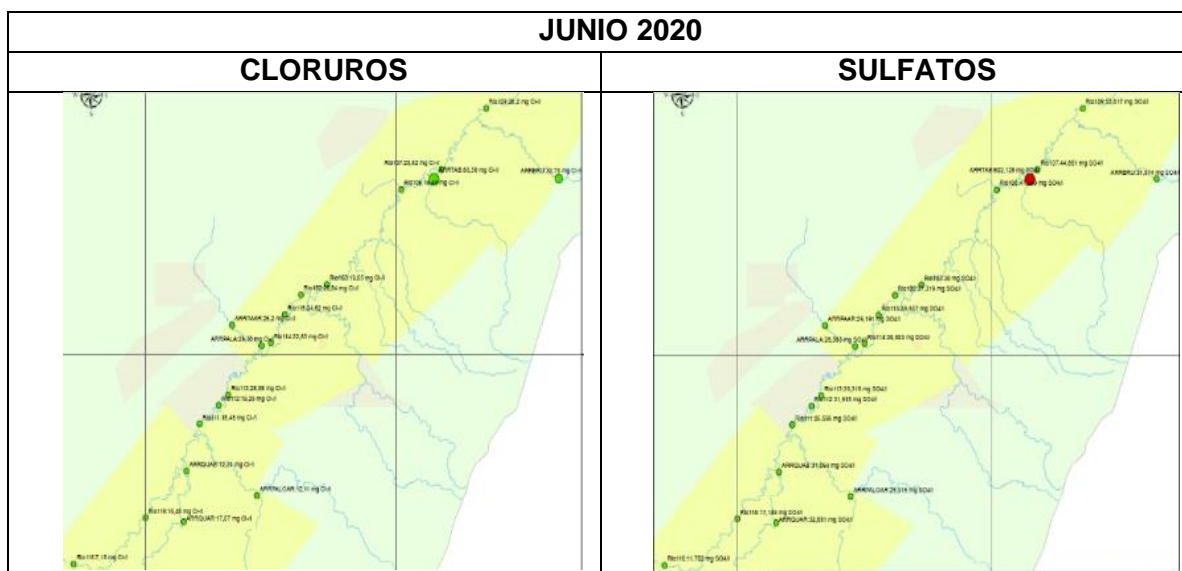
MAYO 2020	
CLORUROS	SULFATOS
No hay registro	No hay registro

Junio, figura 129, indica que los cloruros siguen siendo estables y aptos según la normativa, nuevamente se evidencian las 3 zonas de influencia según los valores de concentración. De los 19 puntos monitoreados, el valor más alto se indica en el arroyo Tabaco aguas abajo (83,38 mg Cl<sup>-</sup>/l), los valores se estiman entre 10-20 mg Cl<sup>-</sup>/l, 20-30 mg Cl<sup>-</sup>/l y mayores a 30 mg Cl<sup>-</sup>/l.

Los sulfatos presentan valores muy bajos e insignificantes que no superan los 47,15 mg de SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>/l (RIO 106), sin embargo, el arroyo Tabaco Aguas abajo incumple los parámetros máximos permitidos al registrar un valor de 602,13 mg de SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>/l. Los registros del arroyo Tabaco Aguas abajo son: Dureza total 542,49 mg CaCO<sub>3</sub>/L y conductividad 2037 µS/cm, los parámetros de sólidos y coliformes son bajos. Se evidencian dos zonas principales de concentración de sulfatos, la parte inferior registra los valores más bajos.

**Figura 129**

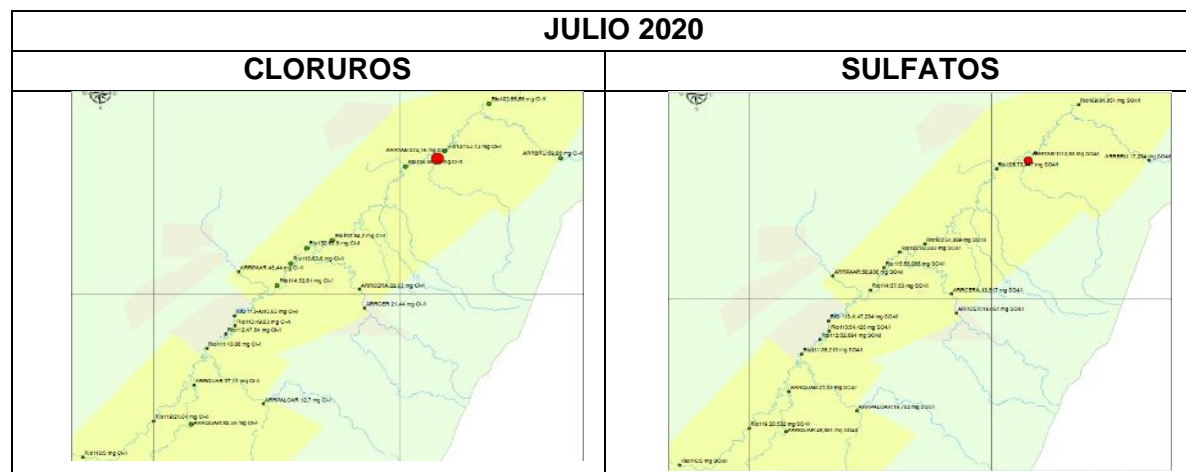
*Comparación Cloruros y Sulfatos Junio 2020*



La figura 130, en el mes de julio se mantiene muy similar en cuanto a cloruros comparado con el mes de junio, pero existe un incumplimiento de la normativa en el arroyo Tabaco Aguas Abajo que registra un valor de 274,16 mg Cl<sup>-</sup>/l, los otros 20 puntos presentan valores inferiores a 82,58 mg Cl<sup>-</sup>/l, además se incluye más puntos de monitoreo dentro del río. Con relación a los sulfatos, hay un aumento evidente en el arroyo Tabaco aguas abajo que también incumple el valor máximo permisible, se registra un dato de 1113,83 mg de SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>/l, muy elevado. Se evidencia una homogeneidad dentro de la cuenca hídrica y valores bajos que no superan 145,87 mg de SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>/l.

**Figura 130**

*Comparación Cloruros y Sulfatos Julio 2020*



En el mes de agosto se registra más variabilidad tanto en cloruros como en sulfatos, los sulfatos se concentran en tres zonas con mayor concentración, estas son: Arroyo Sequión (108,29 mg Cl<sup>-</sup>/l), Arroyo Palomino Aguas abajo (102,73 mg Cl<sup>-</sup>/l) y arroyo Bruno aguas abajo (92,31 mg Cl<sup>-</sup>/l). Ver figura 131.

Los sulfatos presentan estos mismos puntos, pero con valores muy elevados que conllevan al incumplimiento del máximo permisible estipulado en 400 mg de SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>/l, el Arroyo Sequión presenta una concentración de 977,66 mg de SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>/l (la más elevada), el arroyo Palomino 911,70 mg de SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>/l y el Arroyo Bruno 648,51 mg de SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>/l todos en su zona aguas abajo. Estos puntos se encuentran muy distantes unos de otro y no afectan las condiciones aguas arriba ni tampoco el estado del río ranchería. En los dos puntos nuevos se localiza un extremo del tajo Oreganal (Arroyo Palomino) que tiene cerca la laguna Palmarito; y por otra parte el arroyo Sequión cerca de la Laguna de Retención Annex Oeste y del Arroyo La Ceiba. Estas zonas no poseen asentamientos dentro de sí que puedan afectar por causas antropogénicas la calidad de agua, sin embargo, el fenómeno de la niña que trae consigo lluvias puede aumentar la capacidad de las lagunas provocando vertimientos que circulan por los arroyos afectando su calidad.

Los valores de conductividad para el arroyo Cequión son de 2009  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , para el arroyo Palomino 1860  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y para el arroyo Bruno 1088  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . La dureza en su respectivo orden registra 484,44 mg  $\text{CaCO}_3/\text{L}$ , 652,59 mg  $\text{CaCO}_3/\text{L}$  y 445,4 mg  $\text{CaCO}_3/\text{L}$ ; los sólidos totales 1600 mg/l, 1715 mg/l y 1040 mg/l, sodio 278 mg Na/l, 89,7 mg Na/l y 97,8 mg Na/l. Estos parámetros son elevados e indican la presencia de sulfatos contaminantes que afectan la calidad de agua, el arroyo palomino presenta niveles altos de turbidez.

**Figura 131**

*Comparación Cloruros y Sulfatos Agosto 2020*

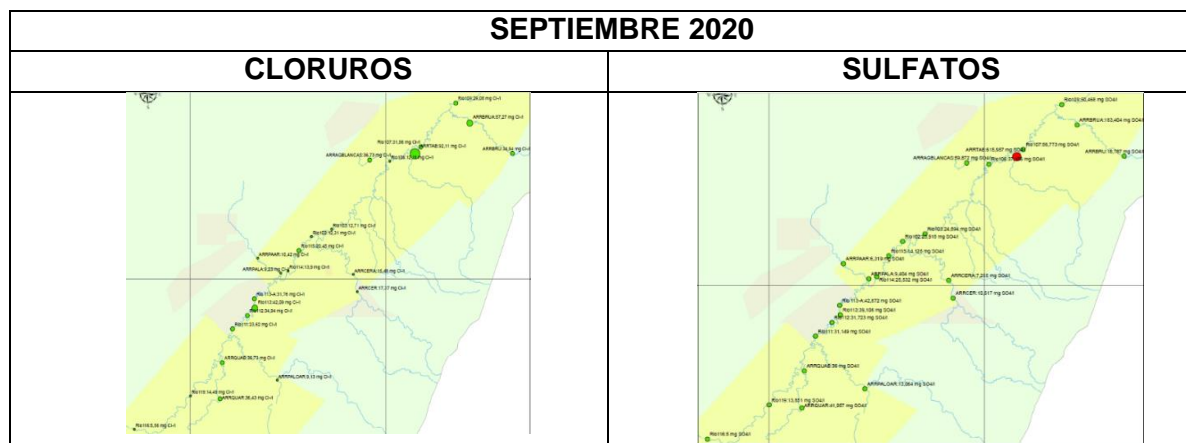


En el mes de septiembre se presenta una mejor calidad del agua, los cloruros siguen cumpliendo los parámetros establecidos, pero indicando donde va a ser la mayor concentración de sulfatos, se evidencian 3 zonas de relevancia, la parte inferior registra altas concentraciones de cloruros, luego disminuye y vuelve a aumentar hasta registrar el valor más alto en el arroyo Tabaco aguas abajo (92,11 mg Cl/l), los demás valores no superan el valor de 57,27 mg Cl/l del arroyo Bruno Aguas abajo.

Por otra parte, los sulfatos presentan un incumplimiento de la normativa en el arroyo Tabaco aguas abajo con un valor de 615,96 mg de  $\text{SO}_4^{-2}/\text{l}$ , en general los sulfatos disminuyeron notoriamente comparados con el mes anterior y no superan el valor de 59,87 mg de  $\text{SO}_4^{-2}/\text{l}$  registrado en el Arroyo Aguas Blancas. Ver figura 132.

**Figura 132**

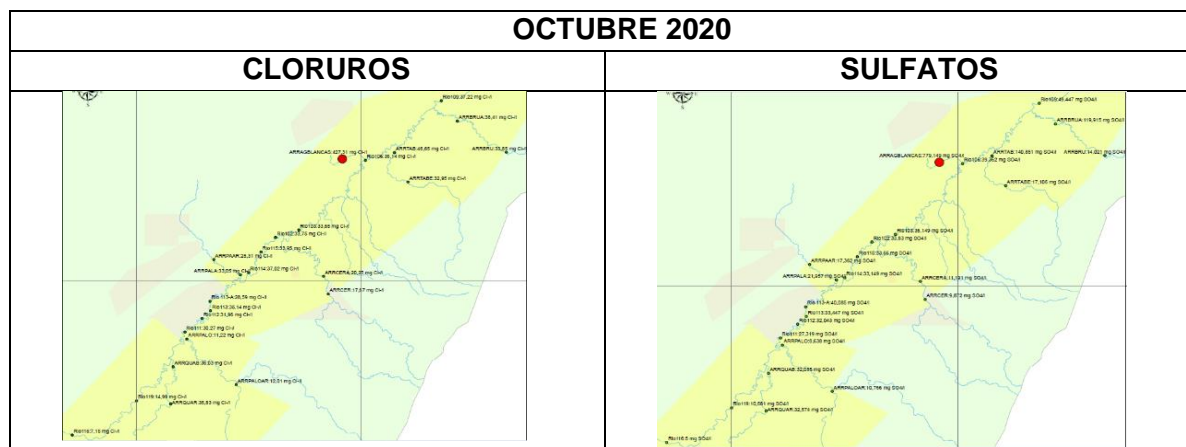
*Comparación Cloruros y Sulfatos Septiembre 2020*



En el mes de octubre, figura 133, hay incumplimiento de los parámetros de cloruros y sulfatos en el Arroyo Aguas Blancas, en cloruros se obtiene un valor de 427,31 mg Cl<sup>-</sup>/l y en sulfatos de 779,15 mg de SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>/l (casi duplicando el valor máximo permitido), este arroyo se encuentra cerca de los administrativos, los lavaderos de los equipos, los talleres de llantas, comedor y centros de entrenamiento. Al estar tan cerca de la población se impacta de forma inmediata y en gran proporción bien sea por el mal manejo de residuos o por los vertimientos no permitidos realizados en esta zona. Los otros 24 puntos de muestreo cumplen con el valor máximo permisible, incluso, en la tipología se observa la homogeneidad de valores con bajo nivel de concentración de cada parámetro sin afectaciones por el arroyo Aguas Blancas que presenta una dureza de 987,90 mg CaCO<sub>3</sub>/L que puede ser a causa de los jabones utilizados en el lavadero y por esta razón aumentar la cantidad de sulfatos y cloruros dentro de la fuente hídrica.

**Figura 133**

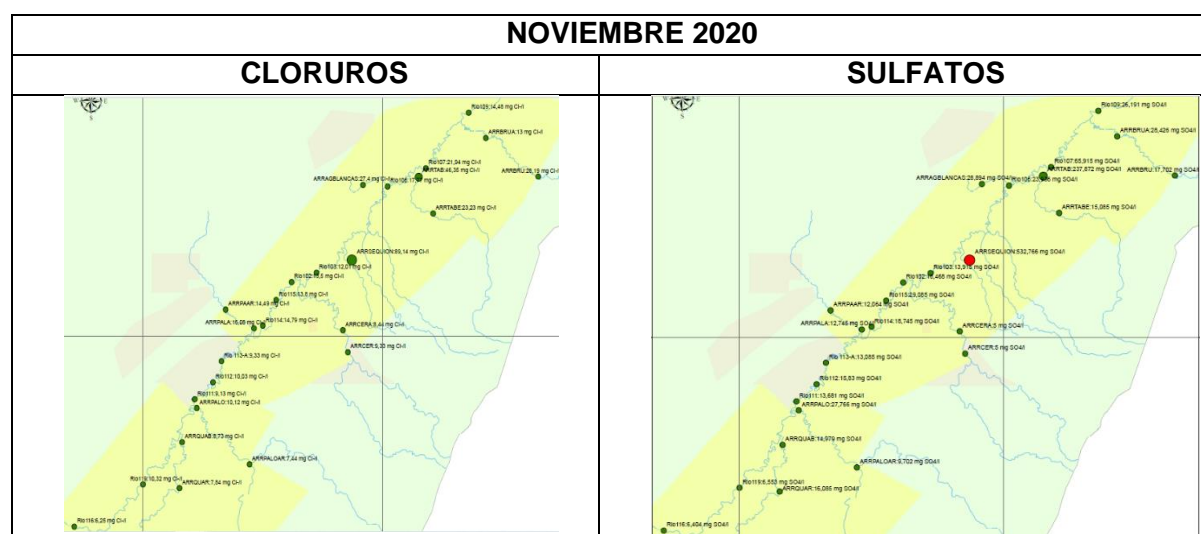
*Comparación Cloruros y Sulfatos Octubre 2020*



En el mes de noviembre disminuye la concentración de cloruros y nuevamente cumple los valores máximos permisibles, el valor más alto se registra en el arroyo Sequión (89,14 mg Cl<sup>-</sup>/l), pueden evidenciarse las tres zonas de influencia según la cantidad de cloruros encontrada en los ensayos. La parte alta con valores más grandes entre los 20 mg Cl<sup>-</sup>/l y 40 mg Cl<sup>-</sup>/l. Los sulfatos son alterados en el arroyo Sequión, superan la normativa con un valor de 532,77 mg de SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>/l, pero no afecta los puntos de muestreo del río, ni los arroyos de su alrededor, registra una conductividad de 1487 μS/cm y una presencia de bicarbonato significativa. Los otros 25 puntos cumplen con los parámetros establecidos con valores inferiores a 237,87 mg de SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>/l (Arroyo Tabaco Aguas abajo). Ver figura 134.

**Figura 134**

*Comparación Cloruros y Sulfatos Noviembre 2020*



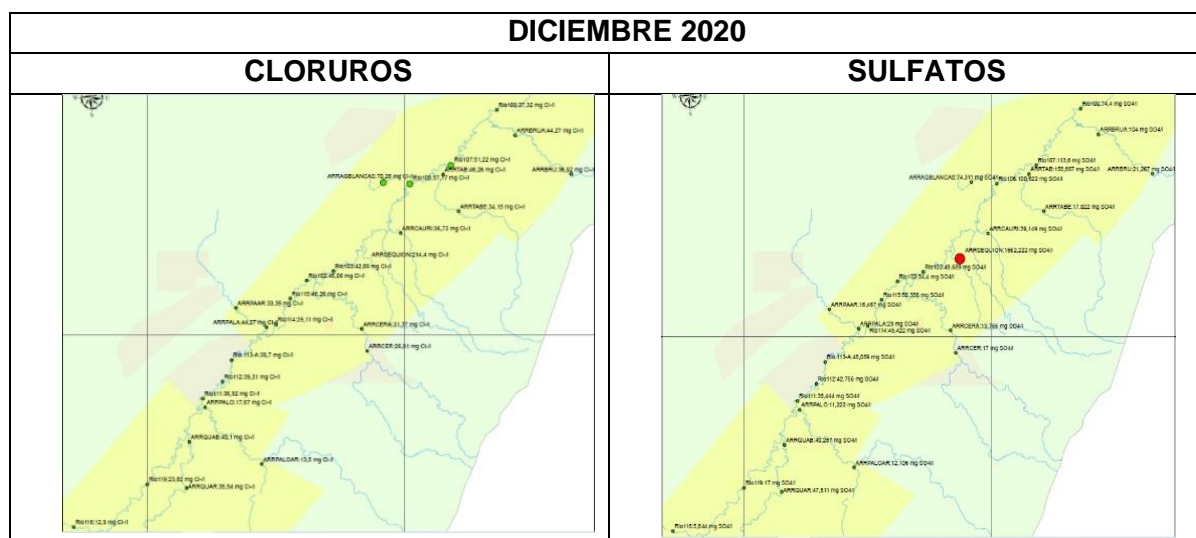
El último mes del año continua con un cumplimiento de cloruros en toda la fuente hídrica, se presenta un valor significativo en el Arroyo Sequión de 214,4 mg Cl<sup>-</sup>/l, los demás 26 puntos de muestreo no sobrepasan el valor de 70,28 mg Cl<sup>-</sup>/l (Arroyo Aguas blancas aguas abajo), se incluye el monitoreo del arroyo Caurina y de los demás arroyos en sus flujos aguas arriba y abajo.

Los sulfatos presentan un incremento considerable en el Arroyo Cequión con un registro de 1662,22 mg de SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>/l, además, presenta un valor de conductividad de 3800 uS/cm, sólidos disueltos 2798 mg/l, sólidos totales 2864 mg/l y presencia de bicarbonato, indicando la posible presencia de material arrastrado por el cauce del agua. Los demás puntos no superan el valor de 158,67 mg de SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>/l del arroyo Tabaco Aguas Abajo.

La figura 135 compara en el mes de diciembre el registro de los puntos en cuanto a cloruros y sulfatos indicando si cumple o no la normativa con el color. En esta figura se ve en la parte izquierda los cloruros con puntos verdes que indican el cumplimiento de la normativa; por otra parte, en el lado derecho, se evidencia un punto rojo que pertenece al incumplimiento de sulfatos por parte del punto en el arroyo Cequión.

**Figura 135**

*Comparación Cloruros y Sulfatos Diciembre 2020*



En la figura 136, se evidencia el formato original de los mapas realizados respecto al análisis de calidad de Cloruros y sulfatos, se evidencia el nombre del mapa, la ubicación geográfica, la leyenda y los rótulos de la empresa.

**Figura 136**

*Formato entrega de mapas, Sulfatos enero 2018*



### **Conclusiones y Recomendaciones**

Una actividad minera requiere de muchos procesos, entre estos los ambientales que a su vez contienen subprocesos para poder cumplir dentro del área operativa los requisitos ambientales nacionales e internos. Realizar seguimiento a las actividades implica relacionarse directamente con las tareas que logran un objetivo común, proteger el ambiente. Las visitas dentro de la mina permiten aplicar los conceptos teóricos aprendidos y visualizar como inciden entre sí la ejecución de conocimientos para poder tomar decisiones asertivas y sostenibles dentro de la empresa. Los informes permiten un seguimiento escrito ante la evolución y desarrollo de actividades, por esta razón, el registro fotográfico se vuelve un aliado para sustentar los análisis.

Una deficiente gestión de residuos aporta emisiones de GEI (Gases de Efecto Invernadero) que aumentan el calentamiento global causando impactos al planeta. Se encuentra que en la población hay carencia de cultura relacionada al reciclaje y no se toman el tiempo de separar correctamente los residuos aun cuando existe el área y las canecas rotuladas, por eso es importante el compromiso de la comunidad. En las acciones de prevención y mitigación, además de la adecuación de las zonas para garantizar buen estado y limpieza, la realización de campañas y capacitaciones permite sensibilizar a las personas y enfocarlas en la importancia de realizar una adecuada separación desde la generación en la fuente de los residuos para permitir un mayor aprovechamiento, además, conocer los beneficios de disminuir el consumo y los impactos ambientales.

El control cercano permite también que se evidencie la mejora de las áreas inspeccionadas y que se cumplan los estándares de manera más rápida. Es importante tener en cuenta las entrevistas y puntos de vista de las personas ya que brindan desde su experiencia oportunidades de mejora en los procesos. Comparando el diagnóstico antes y después de comenzar los procesos educativos y la implementación de vigías ambientales se evidencia un compromiso y mejora dentro de las áreas evaluadas, aportando a la gestión integral de residuos desde su clasificación y mayor aprovechamiento.

El aprovechamiento de residuos contribuye a disminuir la demanda de recursos naturales y la contaminación ambiental, de manera participativa e incluyente se convierte en un mecanismo sostenible en términos sociales, ambientales y desarrollo económico a partir del buen manejo y reutilización. Los métodos de aprovechamiento que incluyen reciclaje y compostaje permiten generar empleo y beneficios económicos para la compañía y la fundación a cargo, la excelente gestión comprobada con los indicadores de recuperación de residuos demuestra que la empresa tiene un compromiso ambiental y social, incluyendo el futuro uso del abono para aumentar el valor nutricional del suelo mejorando sus características.

Con respecto a la calidad del agua, los gráficos permiten relacionar los parámetros entre sí como es el caso de la Dureza, los Sólidos Disueltos y Totales, la conductividad y la alcalinidad. Se evidencia que al comenzar el año los ríos presentan una excelente calidad hídrica, además según las tipologías se pueden distribuir las zonas según los rangos de concentraciones que actúan de manera homogénea aguas abajo y aguas arriba del río Ranchería. En general, la

parte inferior (suroeste) presenta los menores valores de concentraciones, mientras que la parte superior (noreste) presenta los valores más altos.

En el año 2018 es donde más hay variación e incumplimiento de los parámetros, por su parte, en el año 2019 se presenta la mejor calidad del agua donde la mayoría de meses los valores se encuentran dentro de los rangos máximos permitidos. Dentro de las áreas a estudio no hay presencia directa de asentamientos que influyan en la calidad del agua, sin embargo, la calidad de agua del Río Ranchería no se ve afectada tras su paso por las áreas de operaciones mineras, incluso si un arroyo presenta niveles altos de contaminación no afecta directamente al río ni tampoco el cauce del arroyo.

En la mayoría de meses la concentración de cloruros es apta y aceptada según el Decreto 1076 de 2015, la presencia de un nivel significativo de estos iones alertaba un incumplimiento de sulfatos por los altos valores registrados. La mayoría de afectación del recurso se ve en el Arroyo Tabaco Aguas abajo que se encuentra muy cerca a uno de los tajos de operación, a pesar que no contamina el flujo aguas arriba ni el Río Ranchería debe realizarse un monitoreo a la operación para evaluar que está afectando el arroyo, bien sea material particulado, el contacto de escorrentías con la vía o condiciones geológicas de la zona.

Los fenómenos relacionados al niño y la niña, que traen consigo lluvias y sequías también influyen en la calidad del agua, se conoce que en periodos de lluvia el río aumenta la turbidez y el color, pero también existe arrastre de rocas, sedimentos y en general sólidos que se descomponen dentro del agua y alteran sus características. Reconociendo que la mina esta sobre suelos salubres que dieron origen al carbón, es normal encontrar siempre iones de sulfatos y cloruros dentro del agua superficial, sin embargo, y aunque no sean letales para la salud, debe velarse por un control y manejo adecuado que permita la conservación y preservación del recurso hídrico. La calidad del agua es un tema que preocupa a todos pensando en las condiciones actuales y futuras, la minería bien hecha de manera sostenible permite mejorar y cuidar las características del agua y conservar la vida de los ecosistemas que viven en su entorno.

La gestión ambiental ha tomado gran importancia dentro de las empresas para promover el desarrollo económico, social y ambiental con sostenibilidad a las personas que habitan cerca del área de influencia y las que participan en el proceso. Cerrejón ha demostrado que si se puede hacer minería responsable mediante la compensación ambiental que incluye la recuperación del suelo, seguimiento a la calidad del agua y aire, manejo de residuos y protección de los ecosistemas asegurando el ciclo del proyecto minero incluso después del cierre de mina. Los datos obtenidos son el reflejo de una correcta gestión y un compromiso de todos para cuidar y fortalecer el entorno donde vivimos, donde se cumple las normativas al no exceder los valores máximos permisibles y siempre se busca una mejora continua en el fortalecimiento de procesos.

### Bibliografía

- Baez, L., & Trujillo, F. (2014). *Biodiversidad en Cerrejón*. Bogotá: Carbones de Cerrejón, Fundación Omacha, Fondo para la Acción Ambiental y la niñez.
- Carbones del Cerrejón Limited*. (s.f.). Obtenido de <http://www.cerrejon.com/site/nuestra-empresa/operacion-integrada.aspx>
- Cerrejón. (2020). *Cerrejón Minería Responsable*. Obtenido de <https://www.cerrejon.com/index.php/nuestra-operacion/nuestra-empresa/>
- Cerrejón. (s.f.). *Cerrejón Minería Responsable*. Obtenido de <http://www.cerrejon.com/site/nuestra-empresa/operacion-integrada.aspx>
- Cerrejon Minería Responsable*. (s.f.). Recuperado el 2021, de [http://www.Cerrejón.com/Informe\\_Sostenibilidad](http://www.Cerrejón.com/Informe_Sostenibilidad)
- Cerrejón Minería Responsable*. (s.f.). Obtenido de <http://www.cerrejon.com/site/nuestra-empresa/estilo-cerrejon/valores.aspx>
- Cerrejón. (s.f.). Programa de Manejo Drenaje Superficial: Río Ranchería y tributarios.
- Cerrejón. (s.f.). Programa Manejo Acuíferos del Río Ranchería (Cuaternario) y Acuíferos Terciarios intervenidos por la operación minera.
- Cerrejón. (s.f.). Programa Manejo Aguas Residuales Domésticas ARD.
- Cerrejón. (s.f.). Programa Manejo Aguas Residuales y Desechos industriales Ari.
- Cerrejón. (s.f.). Programa Manejo de Aguas Lluvias y de escorrentía.
- Cerrejón. (s.f.). Programa Manejo de Aguas Residuales Mineras- ARM.
- Cerrejón. (s.f.). Programa Manejo de Emisiones Atmosféricas: Material Particulado y Ruido.
- Econciencia, S. (2016). *Llena una Botella de Amor*. Rionegro.
- Ministerio de Ambiente, V. y. (2008). *Construcción de Criterios Técnicos para el Aprovechamiento y Valorización de Residuos Sólidos Orgánicos con alta tasa de Biodegradación plásticos, vidrio, papel y cartón*.