



REPÚBLICA DE CUBA
MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
DEPARTAMENTO DE HISTORIA Y MARXISMO-LENINISMO

**Propuesta de procedimiento para tratamiento de residuales
líquidos de la Planta Piloto del Centro de Investigaciones del
Níquel en Moa.**

MIRVELIS LÓPEZ GÁMEZ.

Moa - 2020



**REPÚBLICA DE CUBA
MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
DEPARTAMENTO DE HISTORIA Y MARXISMO-LENINISMO.**

**Propuesta de procedimiento para tratamiento de
residuales líquidos de la Planta Piloto del Centro de
Investigaciones del Níquel en Moa.**

Autora: Lic. Mirvelis López Gámez.
Tutores: Dr. C José Alberto Pons Herrera.
Dra.C María Caridad Ramírez Pérez
MsC. Arlenys Carbonell Pupo

Moa-2020



“Una importante especie biológica está en riesgo de desaparecer, por la rápida y progresiva liquidación de sus condiciones naturales de vida: el hombre.”

A handwritten signature in black ink, which appears to be 'Fidel Castro', written in a cursive style and enclosed within a large, sweeping oval flourish.

Fidel Castro Ruz 1992

DEDICATORIA

A mi madre por el amor, el sacrificio, confianza y por su invaluable apoyo incondicional a lo largo de toda mi vida.

A mis amigas y esposo, por apoyarme siempre en los momentos difíciles, dándome fuerzas y fe para hacer realidad este sueño.

AGRADECIMIENTOS

- ✓ *A Dios por su infinito amor, darme la oportunidad de existir y alcanzar mis metas.*
- ✓ *Al Doctor Ever Tamayo Bartutis por ayudarme a llegar hasta aquí de la manera que lo ha hecho.*
- ✓ *A mis tutoras: Dra. C. María Caridad Ramírez Pérez y MSc. Arlenys Carbonell Pupo, por la paciencia y valiosa atención que me brindaron para que lograra concluir la investigación con la calidad requerida.*
- ✓ *A mi tutor Dr. C. José Alberto Pons Herrera por su apoyo brindado.*
- ✓ *A la Dra. C. Tania Bless, por creer en mí y brindarme su ayuda.*
- ✓ *A mi familia por su incondicional muestras de amor.*
- ✓ *A Marialis, Leanne, Tita e Indira, por sus cariños y fuerzas para que venciera esta meta.*
- ✓ *Al Centro de Investigaciones del Níquel en Moa por darme la oportunidad de estudiar y ofrecerme la facilidad y herramientas necesarias para culminar este tema de investigación.*
- ✓ *A mis compañeros de trabajo y amigos: Fariña, Katerine, Jaidis, Bassas, Ricardo, Mariela, Michael, Sorangel, Luis Angel, entre otros, por sus por sus ayudas incondicionales cuando más lo necesité.*
- ✓ *A todos los que de una forma u otra contribuyeron a lograr esta meta trazada.*

MUCHAS GRACIAS.

RESUMEN

La generación de residuales industriales líquidos de la Planta Piloto del Centro de Investigaciones del Níquel en Moa, provoca impactos ambientales negativos por más de treinta años, con el vertimiento de sus efluentes al Río Yagrumaje como medio receptor, lo cual constituye un riesgo permanente para el medio ambiente y la salud del hombre. La presente investigación propone un procedimiento para el tratamiento de los residuales industriales líquidos provenientes de esta planta, que contribuirá a minimizar la contaminación ambiental y lograr un desarrollo sustentable. A través de la síntesis multimetodológica fundamentada en la triangulación de métodos, fue posible la caracterización físico-química de las muestras seleccionadas, lo que permitió conocer el contenido de los principales indicadores y compararlos con los valores permisibles establecidos en la norma NC 27:2012. Los resultados indican que el pH en los puntos de muestreo 2 y 3, es ligeramente superior al límite máximo que establece la norma; los sólidos sedimentables en los puntos 1 y 3 exceden más de 22 veces el valor permisible, mientras que los sulfuros en los tres puntos de muestreo superan en más de 28 veces lo establecido para el vertimiento de aguas residuales a aguas terrestres y alcantarillado. Con la necesidad de disminuir la carga contaminante que afecta al medio receptor, se realizó la propuesta de un procedimiento para el tratamiento a los residuales industriales líquidos de la planta, que consta de cuatro etapas y dos variantes para el tratamiento de los sulfuros, a considerarse de acuerdo al costo-beneficio que pueden generar.

Palabras Claves: residuales industriales líquidos, procedimiento, desarrollo sustentable.

SUMMARY

The generation of liquid industrial waste from the Pilot Plant of the Nickel Research Center in Moa, causes negative environmental impacts for more than thirty years, with the discharge of its effluents to the Yagrumaje River as a receiving means, which constitutes a permanent risk for the Environment and human health. This research proposes a procedure for the treatment of industrial liquid waste from this plant, which will help minimize environmental pollution and achieve sustainable development. Through the multimethodological synthesis based on the triangulation of methods, it was possible the physical-chemical characterization of the selected samples, which allowed to know the content of the main indicators and compare them with the permissible values established in the NC 27: 2012 standard. The results indicate that the pH at sampling points 2 and 3 is slightly higher than the maximum limit established by the standard; The sedimentable solids at points 1 and 3 exceed more than 22 times the allowable value, while the sulphides at the three sampling points exceed more than 28 times what is established for the discharge of wastewater to land and sewage. With the need to reduce the pollutant load that affects the receiving environment, the proposal was made for a procedure for the treatment of liquid industrial residuals of the plant, which consists of four stages and two variants for the treatment of sulfides, to be considered according to the cost-benefit they can generate.

Keywords: liquid industrial residuals, procedure, sustainable development.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO	8
1.1.- Conceptualización de los residuales industriales	8
1.1.1.- Los residuales industriales líquidos	10
1.2. - Características de los residuales industriales líquidos	12
1.3.- Tratamiento a residuales industriales líquidos con enfoque sustentable.. 17	
1.3.1- Tratamientos a aplicar a los residuales industriales líquidos	19
1.4.- Procedimientos para tratamientos a residuales industriales líquidos	26
1.5.- Normas que regulan el vertimiento de residuales industriales líquidos	29
CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO I	33
CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS	34
2.1.- Métodos empleados en la investigación	34
2.2.- Caracterización de la Planta Piloto del Centro de Investigaciones del Níquel ``Capitán Alberto Fernández Montes de Oca´´.	37
2.3.- Población y Muestra	39
2.4.- Metodología empleada para la toma y caracterización de las muestras	40
2.4.1.- Materiales y técnicas utilizados en la caracterización de las muestras	41
2.5.- Resultados de la caracterización de las muestras	43
2.5.1.- Análisis comparativo de la caracterización de la muestra del Punto 1 con años anteriores	45

CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO II	47
CAPÍTULO III. PROPUESTA DE PROCEDIMIENTO	48
3.1.- Propuesta de procedimiento.	48
3.2.- Tratamiento a los indicadores que exceden la Norma Cubana 27:2012	50
3.3.- Análisis del impacto ambiental de los contaminantes.....	58
CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO III	60
CONCLUSIONES.....	61
RECOMENDACIONES	62
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....
ANEXOS.....

INTRODUCCIÓN

Desde el origen y desarrollo del hombre, las actividades minero metalúrgicas han generado importantes beneficios económicos-sociales, pero también significativos impactos negativos al medio ambiente. Constituye una de las principales causas del deterioro del planeta, por la generación de residuos industriales que emite en estado sólido, líquido y gaseoso, unido a la falta de control y tratamientos efectivos a los residuales provenientes de tecnologías ineficientes que se utilizan en este sector, lo cual provoca grandes desequilibrios ecológicos.

Entre las consecuencias más evidentes, se encuentra la destrucción de la biosfera a niveles casi irreparables, por el uso excesivo de recursos de ecosistemas que no soportan la sobreexplotación intensiva. Así como el consumismo desmedido, la contaminación del aire, el suelo, las aguas, la pérdida de la diversidad biológica, la deforestación, entre otros; además de la disminución de los recursos hídricos, que trae consigo la insuficiente cobertura de saneamiento y agua potable que conllevan al aumento de la pobreza en que se encuentra sometida más de la mitad de la humanidad.

Alcanzar el equilibrio entre el desarrollo de las actividades productivas industriales y la protección del medio ambiente se hace necesario, para establecer el eje de la actividad humana racional. Donde lograr un sistema productivo sin generar contaminación ambiental, creando alternativas para la reutilización y tratamientos a los residuos generados por esta actividad, como necesidad de conseguir la sustentabilidad, constituye un reto para el hombre del siglo XXI.

Cuba se encuentra inmersa en el universo industrial minero metalúrgico como uno de sus principales renglones económicos; entre sus regiones mineras más importantes se localiza el Municipio de Moa, que cuenta con cuantiosas reservas minerales de níquel y cobalto, entre otros elementos metálicos de interés económico. Estas reservas minerales son explotadas por dos empresas metalúrgicas productoras y existen otras

empresas que conforman el Grupo Empresarial Cubaníquel, que en su conjunto tienen el compromiso de brindar disímiles servicios a estas.

Dentro de las empresas que componen el Grupo Cubaníquel se encuentra el Centro de Investigaciones del Níquel en Moa "Capitán Alberto Fernández Montes de Oca", en lo adelante se denomina (CEDINIQ); que persigue como finalidad trabajar en la intensificación de los procesos de las plantas de producción, con tecnologías ecológicas sustentables en análisis a escala de banco en la Planta Piloto que allí existe. Los servicios que presta el CEDINIQ están en correspondencia con varios Lineamientos adoptados en el VI Congreso del Partido Comunista de Cuba. (Cuba P. C., 2011).

A partir del surgimiento del CEDINIQ y la puesta en marcha de su Planta Piloto, se ha generado un gran volumen de residuales industriales líquidos por más de treinta años consecutivos, sin una previa recuperación o tratamiento antes de ser vertidos a los medios receptores, lo cual fundamenta un riesgo permanente para el medio ambiente y el hombre, por lo que urge crear una alternativa para dar solución a esta problemática ambiental.

El presente estudio se realiza mediante el análisis bibliográfico, documental y testimonial de investigaciones realizadas por autores como Rodríguez y García (2006), Espigares (2010), Puga (2012), Falcón (2011), Laucerica (2013), Sánchez (2015), que han expuesto sus argumentos sobre los residuales líquidos proveniente del sector industrial, la necesaria concientización de una correcta gestión, manejo, uso y tratamientos a aplicar. Los mismos abordan en sus investigaciones los impactos causados por el mal manejo de los residuos líquidos y los diferentes tipos de tratamientos físico-químicos-biológicos que se pueden aplicar para minimizar los daños progresivos que traen consigo este tipo de contaminación.

En investigaciones realizadas por Arias (2018), Cardona (2016), Rivas R. S. (2017), Ramos; Pellón; Villafranca; y Álvarez (2005), Andrade (2015), Navarro (2007) y

Cardona (2016), se establecen varios aportes científicos brindados sobre la aplicación de procedimientos para el adecuado tratamiento de los residuales industriales. Aunque ninguno de los procedimientos analizados se ajustó al caso de estudio, si permitieron desarrollar una propuesta de tratamiento específica con mayor profundidad, aportando ideas sólidas.

En el Municipio de Moa se han realizado también varias investigaciones sobre la temática de los residuales líquidos generados por las industrias minero metalúrgicas, realizadas por Labadié J. S. (1993), Granda I. O. (1992), Granda I. O. (1993), Rivas R. S. (2017), Bovonde (2019) y otros más, estas se encuentran orientadas en la importancia de aplicar tratamientos a los efluentes derivados de este sector, de acuerdo a las características propias que presentan, por su alta degradación al medio ambiente; así como la posible reutilización e incorporación en los diferentes procesos tecnológicos de las industrias.

Mediante la búsqueda bibliográfica de ensayos científicos, entrevista a investigadores y especialistas de la Planta Piloto del CEDINIQ, tomados como expertos en el tema, se conoció que consta documentación referenciada sobre la caracterización de dicha planta, realizada por Grupo Empresarial GEOCUBA (2014), Veliz (2017) y Angulo (2016), todos coincidiendo en que la planta no aplica ninguna estrategia para minimizar o tratar la generación de residuales líquidos.

De manera que estos efluentes se vierten directamente al Río Yagrumaje como medio receptor, aun cuando superan en algunos indicadores los parámetros establecidos por la Norma Cubana 27: 2012 ``Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado. Especificaciones.´´, lo cual genera un impacto ambiental negativo y a la salud del hombre. Además de comprobarse que existe escasa referencia sobre la propuesta o implementación de procedimientos para el tratamiento a los efluentes emitidos por la planta.

La situación problemática descrita permite determinar que el **problema científico** radica en: Inexistencia de un procedimiento para el tratamiento de los residuales líquidos, generados por la Planta Piloto del Centro de Investigaciones del Níquel ``Capitán Alberto Fernández Montes de Oca´´, que se vierten al medio ambiente y causan impacto negativo al entorno de la región.

Como **objetivo general** de la investigación se plantea: Diseñar una propuesta de procedimiento para el tratamiento de los residuales líquidos generados por la Planta Piloto del Centro de Investigaciones del Níquel, que contribuya a minimizar la contaminación ambiental que estos actualmente provocan al medio ambiente, sirviendo de referencia al resto de las empresas del Níquel, y al logro de un desarrollo sustentable.

Los **objetivos específicos** son:

- ✓ Fundamentar las categorías de la investigación desde un enfoque sustentable.
- ✓ Caracterizar desde el punto de vista físico-químico los residuales industriales líquidos provenientes de la Planta Piloto del CEDINIQ.
- ✓ Establecer tratamientos a los indicadores que superan lo establecido por la norma reguladora.

Se delimita como **objeto de estudio**: los residuales líquidos generados por la Planta Piloto del CEDINIQ y como **campo de acción**: procedimiento para el tratamiento de los residuales líquidos generados por la Planta Piloto del CEDINIQ.

La **Hipótesis** propuesta como solución es: si se diseña una propuesta de procedimiento que permita el tratamiento de los residuales líquidos generados por la Planta Piloto del Centro de Investigaciones del Níquel en Moa, se contribuye a disminuir el impacto ambiental negativo que causan los mismos sobre el medio ambiente y lograr un desarrollo sustentable.

El sistema teórico conceptual de la investigación está determinado por los conceptos de residuales industriales líquidos, desarrollo sustentable y procedimientos, que a partir del estudio de los autores y las bibliografías sobre las temáticas, permiten conformar y comprender con mayor profundidad el cuerpo teórico conceptual de la tesis.

Basado en la teoría fundamentada o sustantiva, se utiliza un procedimiento sistemático cualitativo que explica en un nivel conceptual una acción en un contexto más concreto. Provee de un sentido de comprensión sólido, se trabaja de manera práctica, es sensible a las expresiones de los individuos del contexto considerado. Contribuye además a representar toda la complejidad descubierta en el proceso.

Asimismo se utiliza el diseño de Investigación-acción que permite resolver problemas cotidianos e inmediatos y mejora prácticas concretas, que aporta información en la toma de decisiones para programas, procesos y reformas estructurales, propicia el cambio social, transforma la realidad y permite que las personas tomen conciencia de su papel en dicho proceso de transformación.

El mapeo permitió organizar y edificar el marco teórico, el cual se basa en la combinación de la información recopilada de acuerdo con los criterios lógicos adecuados al tema de investigación, mediante un mapa conceptual para profundizar en la revisión de la literatura, esto brinda una serie de información sólida y verídica sobre el tratamiento de los residuales líquidos mediante el diseño de un procedimiento, con un enfoque sustentable.

La investigación se concibe a partir de una perspectiva con enfoque mixto, a través de la complementariedad metodológica, se utilizan métodos y técnicas de ambos enfoques, que permite tener un mayor rigor y el resultado de los datos recogidos tengan mayor veracidad; teniéndose como principio la triangulación de datos. Además es una investigación descriptiva que se fundamenta en especificar propiedades, características y rasgos importantes de cualquier fenómeno que se analice.

Para el desarrollo de la indagación científica se aplicaron los métodos histórico-lógico: que posibilitó el estudio de los conocimientos precedentes y existentes sobre los residuales industriales y los residuales líquidos, estableciendo los fundamentos teóricos del proceso objeto de estudio; la inducción-deducción: facilitó la valoración de la relación entre los residuales líquidos y los tratamientos a aplicarse con enfoque sustentable que permite establecer conclusiones; y el análisis- síntesis que permitió el análisis de la documentación referente al objeto de investigación y sintetizar e incorporar los aportes del conocimiento científico.

Las técnicas empleadas posibilitaron la obtención del resultado de la investigación, entre ellas se encuentra el análisis de contenido, consulta a expertos, mapeo y la observación participación, lo cual contribuyó a un mayor rigor y valor científico.

Los aportes que brinda esta investigación son del tipo metodológico, ambiental y social, pues permiten establecer una propuesta de procedimiento para el adecuado tratamiento a los residuales líquidos provenientes de la Planta Piloto del CEDINIQ, que disminuya los impactos ambientales negativos causados a los ecosistemas circundantes al centro, la alteración visual, la contaminación del Río Yagrumaje y lograr un desarrollo sustentable. Con vista además, de mejorar la calidad de vida de los pobladores del Consejo Popular de Punta Gorda que es la comunidad más cercana a CEDINIQ.

La tesis se encuentra estructurada en resumen, introducción y tres capítulos; Capítulo I: Aborda los fundamentos teóricos conceptuales sobre los residuales industriales líquidos y los tratamientos a establecerse para minimizar sus impactos ambientales con enfoque sustentable.

Capítulo II: expone los materiales y métodos empleados para el análisis físico-químico-mecánico de las muestras tomadas de los diferentes puntos de muestreos establecidos de forma representativa. Así como, la comparación de los resultados de los mismos

puntos de muestreo de forma estratificada, en períodos de tiempos diferentes. Analiza los resultados de la caracterización para la determinación de los niveles de acuerdo a la normativa establecida.

Capítulo III: presenta la propuesta de un procedimiento para minimizar la contaminación ambiental que provocan los efluentes provenientes de la Planta Piloto del CEDINIQ y estandarizar los niveles establecidos por la Norma Cubana 27: 2012 ``Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado. Especificaciones. ``

Además, forma parte de la estructura de la tesis: las conclusiones, recomendaciones, bibliografía y anexos.

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se realiza un análisis epistemológico sobre los conceptos de residuales industriales. Dentro de este, los residuales industriales líquidos; así como los tratamientos a aplicar con enfoque sustentable para conformar el cuerpo teórico que sustenta la tesis. En los epígrafes que lo conforman se abordan los aportes de los diferentes autores y la caracterización de los conceptos a analizar, que resultan de vital importancia para fundamentar desde la teoría más actual el contenido que sostiene el resultado que se presenta en la investigación. Se asumen los elementos teóricos y conceptuales más apropiados al campo de investigación para respaldar el resultado alcanzado.

1.1.- Conceptualización de los residuales industriales

Desde el surgimiento de los primeros asentamientos poblacionales el planeta tierra ha sido sumidero de desechos, donde por los excesos cada vez mayores se ha vuelto incapaz por sí mismo de absorber y neutralizar dicha carga polucional que los residuos imponen. Esta temática es una problemática social y ambiental, donde los científicos exponen sus argumentos en busca de minimizar tal impacto.

La terminología de residuo varía ampliamente según el campo científico que se emplee según establece Rodríguez, R. (2012), aunque de manera general se puede expresar como ``aquél producto, material o elemento que después de haber sido producido, manipulado o usado no tiene valor para quien lo posee y por ello lo desecha'' (p.10).

Otros como Doménech (1993) entienden como residuo ``todo aquello que se genera como consecuencia no deseada de una actividad humana y, en general, de cualquier ser vivo'' (p. 25).

De acuerdo a su caracterización Cardona (2016) los clasifica según:

-estado físico en que se encuentren como sólidos, líquidos y gaseosos; por sus características químicas (orgánicos e inorgánicos), por el grado de degradación en el ambiente (biodegradable y no biodegradable), por sus características físicas (inertes y combustibles), por la actividad que lo origina (municipales, industriales, mineros, biomédicos, agrícolas, etc.) y por su tipo de manejo (peligrosos, no peligrosos, especiales y peligrosos biológicos-infecciosos) (p. 7).

Por otra parte Cardona (2016) considera a los residuales industriales como ``una consecuencia de las actividades productivas y del desarrollo económico, las que generan gran cantidad de desechos ya sean líquidos, sólidos o mediante emisiones a la atmósfera; que por sus características provocan efectos adversos al hombre y al medio ambiente'' (p.12). Estos provienen de los procesos de producción, transformación, fabricación, utilización, consumo o limpieza de las industrias.

Dentro de las mayores fuentes generadoras de residuales industriales, se encuentra la industria minero metalúrgica; una actividad económica desarrollada en el mundo desde siglos remotos. Se concibe como protagonista de importantes beneficios económicos y sociales en el desarrollo del hombre, como también la causante de significativos impactos ambientales.

La industria minero metalúrgica en el aprovechamiento de los diversos recursos minerales, aparejado al manejo inadecuado de las tecnologías de explotación, emana a diario al medio miles de toneladas y metros cúbicos de desechos en cualquiera de sus estados físicos. Donde los residuales líquidos juegan un roll importante en la contaminación de las aguas terrestres y subterráneas, recurso este indispensable para la vida en todo el planeta.

Un curso de agua se considera contaminado cuando la composición o el estado de sus aguas son directa o indirectamente modificados por la actividad del hombre, en una medida tal, que disminuye la facilidad de utilización para todos aquellos fines, o algunos de ellos, a los que pudieran servir en estado natural (Hernández M. A., 1998).

Rompiéndose de esta forma la armonía entre el hombre y su medio, por la interferencia en la relación hombre/naturaleza/sociedad.

Concluyéndose que las aguas residuales industriales son producto de la acción del hombre por medio de su uso en las diferentes actividades económicas que realiza en busca de su desarrollo económico-social. Estos excedentes de gran volumen en su mayoría, son desechados al medio ambiente con grandes contenidos de sustancias y/o microorganismos que afectan la calidad de los medios receptores, así como la salud humana y el entorno de forma general; representando un peligro eminente que debe de prestársele suma atención.

1.1.1.- Los residuales industriales líquidos

En épocas anteriores, se le brindaba mayor importancia a los efectos que pudieran causar los residuos domésticos que a los residuos industriales; debido a las consecuencias que traen consigo sobre la salud del hombre los residuos humanos presentes en las aguas. Con el cursar del tiempo aparecieron estudios que demostraban la existencia de compuestos químicos en las aguas, procedentes de las industrias; que ocasionaban mayores daños que los propios domésticos.

Existe una estrecha relación entre el agua y las actividades industriales de forma inherente, sobre todo en la industria minero-metalúrgicas, debido a la necesaria presencia del recurso hídrico para el desarrollo de diferentes procesos. Esto trae consigo que al finalizar el proceso industrial se genere un gran volumen de residuos líquidos con presencia de alteraciones en el agua en cuanto a su composición física y química.

Autores como Benabides (2007) plantean que las aguas residuales o residuales líquidos, a partir de su origen, ``son la combinación de agua y residuos procedentes de diferentes actividades socio-económicas y productivas, industrias, viviendas, instalaciones agropecuarias a las que pueden agregarse de forma eventual determinados volúmenes de aguas subterráneas, superficiales y pluviales`` (p. 20)

Concuerdan Ramos A. C. (2013) y González J. C. (2008) en que los efluentes industriales son toda corriente líquida del proceso industrial descargados al alcantarillado o a cuerpos de aguas superficiales, lo que constituye un problema ambiental importante de la industria, por la toxicidad de algunas de las sustancias contenidas en ellos. De manera general su composición se centra en aceites, detergentes, antibióticos, ácidos, grasas y otros productos y subproductos de origen mineral, químico, vegetal o animal.

En sus estudios Puga (2012) expone que los efluentes provenientes de las actividades minero-metalúrgicas, es cualquier flujo regular o estacional de sustancias líquidas descargada a los cuerpos receptores que provienen de:

- ✓ Cualquier labor, excavación o movimiento de tierras efectuado en el terreno, cuyo propósito es el desarrollo de actividades mineras o actividades conexas, incluyendo exploración, explotación, beneficio, transporte o cierre de minas, así como campamentos, sistemas de abastecimiento de aguas o energía, talleres, almacenes, vías de acceso de uso industrial (excepto de uso público) y otros.
- ✓ Cualquier planta de procesamiento de minerales, incluyendo procesos de trituración, molienda, flotación, separación gravimétrica, separación magnética, amalgamación, reducción, tostación, sinterización, fundición, refinación, lixiviación, extracción por solventes, electrodeposición y otros.
- ✓ Cualquier sistema de tratamiento de aguas residuales asociadas con actividades mineras o conexas, incluyendo plantas de tratamiento de efluentes mineros, efluentes industriales y efluentes domésticos.
- ✓ Cualquier depósito de residuos mineros, incluyendo depósitos de relaves, desmontes, escorias y otros.
- ✓ Cualquier infraestructura auxiliar relacionada con el desarrollo de actividades mineras.
- ✓ Cualquier combinación de los antes mencionados.

El presente estudio de investigación se centra en los efluentes metalúrgicos provenientes de plantas de procesamiento de minerales, que incluyen procesos de trituración, molienda, separación gravimétrica, separación magnética, reducción, tostación, refinación, lixiviación. La Planta Piloto objeto de estudio, cuenta en su proceso tecnológico con todas estas etapas antes mencionadas para la obtención del resultado de las corridas experimentales, que resulta además un elevado volumen de residuos líquidos.

La composición de los residuales industriales líquidos es muy variable, está dado en dependencia de las diferentes actividades industriales que se realice. (Serrano J. H., 2006). Por lo que las características de los residuales industriales mineros metalúrgicos líquidos son específicos de cada empresa que los genera, varían de acuerdo a su procedencia y a las actividades productivas que realizan, una misma empresa puede producir dos o más efluentes de distinta composición.

Es por ello que las características de las aguas residuales pueden ser diversas y conocer su composición química permite la toma de decisiones precisas a la hora de establecer un tratamiento para la minimización de los impactos negativos que provocan a los medios receptores.

1.2. -Características de los residuales industriales líquidos

En estudios realizados por Metcalf (1995) se determinaron que las características de las aguas residuales se clasifican en físicas, químicas y biológicas;

Características físicas.

Las características físicas del agua residual según Menéndez (2007) están dadas por: sólidos totales, sólidos sedimentables, sólidos en suspensión, sólidos filtrables, sólidos coloidales, sólidos disueltos, sólidos volátiles y sólidos fijos. Otras características físicas importantes son: el olor, la temperatura, la densidad, el color y la turbiedad.

Características químicas.

Autores como Hernández I. A (2005) expusieron que ``Las características químicas de las aguas residuales son la materia orgánica, la medición del contenido orgánico, la materia inorgánica y los gases presentes en el agua residual`` (p.108).

Características biológicas y microbiológicas:

Según Laucerica (2013) plantea que:

-se debe tener un conocimiento exhaustivo de las características biológicas de las aguas residuales. Conocer los principales grupos de microorganismos biológicos presentes, tanto en aguas superficiales como residuales, así como aquellos que intervienen en los tratamientos biológicos, organismos patógenos presentes en las aguas residuales, organismos utilizados como indicadores de contaminación y su importancia, métodos empleados para determinar los organismos indicadores y métodos empleados para determinar la toxicidad de las aguas tratadas (p. 9).

Existen parámetros físicos, químicos y biológicos para evaluar los cambios que las diferentes aplicaciones del agua puedan originar en su calidad. A estos parámetros se les denomina indicadores de la calidad del agua (Seoánez, 1999; Rolim, 2000; Menéndez, 2007).

Los indicadores físicos son aquellos que permiten determinar la calidad y la aplicabilidad de las aguas. Entre ellos se encuentran el olor, apariencia, color, turbidez, conductividad eléctrica y temperatura, entre otros, según se especifica por (Fernández, 2012).

Olor: Son causados por los gases formados en el proceso de descomposición anaerobia y presentan diferentes tipos de olores.

Apariencia: El agua residual es desagradable en su apariencia y en extremo peligrosa en su contenido, debido a su composición y el elevado número de organismos patógenos.

Color: El principal efecto derivado de las alteraciones intensas del color de las aguas lo constituye la contaminación estética, aunque puede llegar a afectar su potabilidad y la presencia de muchos seres vivos. El residuo fresco tiene tonalidad grisácea, mientras que el residuo séptico cambia de color gradualmente de gris a negro. En los casos de contribución de residuos industriales pueden presentar cualquier otro color.

Turbidez: La turbidez de un agua está ocasionada por la presencia de partículas sólidas en suspensión o coloides, con diámetro de $0,1\mu$; que impiden que la luz se transmita tal como lo haría a través de un agua pura. Las partículas en suspensión pueden ser arcillas, limos, granos de sílice, materia orgánica, entre otras.

Conductividad eléctrica: La conductividad eléctrica del agua se refiere a la mayor o menor resistencia del agua a permitir el paso de la electricidad. Dando una estimación acerca de la concentración aproximada de las sales minerales presentes. (Fernández, 2012).

Temperatura: La temperatura del agua se considera para poder predecir los intercambios térmicos que van a tener lugar entre el líquido y las instalaciones por las que pasará. De igual forma influye en los valores de otros parámetros. La conductividad eléctrica de un agua varía con la temperatura, porque aumenta o disminuye la solubilidad de las sales y en especial la de los gases, se modifica por tanto la concentración de las especies iónicas presentes. Por razones análogas se explica la variación del pH con la temperatura. La densidad del agua también se afecta; una alteración de la misma modifica los movimientos de mezcla de diferentes masas de agua.

Indicadores químicos.

Los indicadores químicos de igual forma permiten evaluar los cambios que las diferentes aplicaciones del agua puedan originar en su calidad de manera general o específica.

pH: es un parámetro que indica la concentración de iones hidróneos (H^+) presentes en una disolución acuosa. Da información acerca de la acidez o alcalinidad del residual (Betancourt, 2004). La medida del pH de una disolución se puede realizar por diversos métodos: se emplean indicadores como la fenolftaleína, papeles indicadores o pH metros.

Cloruro: el ión cloruro (Cl^-), es uno de los aniones inorgánicos principales en el agua natural y residual. La concentración de cloruro es mayor en las aguas residuales que en las naturales, puede aumentar debido a los procesos industriales. Un contenido elevado de cloruros puede dañar las conducciones metálicas y perjudicar el crecimiento vegetal.

Dureza: la dureza de un agua corresponde a la suma de las concentraciones de los cationes metálicos. En la mayoría de los casos, la dureza se debe principalmente a los iones calcio y magnesio, a los que se suman a veces los iones hierro, manganeso y estroncio. Los resultados se expresan normalmente en miliequivalentes de carbonato de calcio por litro de solución. Se pueden determinar distintos tipos de dureza (dureza total, dureza cálcica, dureza magnésica, dureza carbonatada o temporal, dureza permanente o no carbonatada (Menéndez, 2007).

Sólidos totales: Una de las características físicas más importante de un agua residual es su contenido en sólidos totales y por lo tanto, uno de los objetivos fundamentales en la depuración es su eliminación. Los sólidos totales se definen como toda una materia o residuo seco resultante de la evaporación de una muestra de agua residual, independientemente de su naturaleza y de la forma en la que se encuentre en el agua.

Indicadores de la contaminación orgánica.

La variedad de contaminantes orgánicos es amplia y no es suficiente el empleo de un único indicador para evaluar la contaminación orgánica del agua. Atendiendo a estos aspectos Menéndez (2007) define los siguientes indicadores:

Carbono Orgánico Total (COT): Es un indicador de los compuestos orgánicos, fijos o volátiles, naturales o sintéticos, presentes en las aguas residuales (celulosa, azúcares, aceites). Su medida facilita la estimación de la demanda de oxígeno ligada a los vertidos, y establece una correlación con la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO).

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5): La DBO_5 expresa la cantidad de oxígeno necesaria para biodegradar la materia orgánica. En la práctica, permite apreciar la carga del agua en materia putrescible y su poder auto depurador, y de ello se puede deducir la carga máxima aceptable.

Demanda Química de Oxígeno (DQO): Ciertas sustancias presentes en las aguas residuales, al verterse en un curso de agua, captan parte del oxígeno existente debido a la presencia de sustancias químicas reductoras. Estas necesidades de oxígeno al margen de todo proceso biológico, se denominan Demanda Química de Oxígeno (DQO). La medida de la misma es una estimación de las materias oxidables presentes en el agua, cualquiera que sea su origen, orgánico o mineral.

Oxígeno Disuelto (OD): Los niveles de oxígeno disuelto en aguas naturales y residuales dependen de la actividad física, química y bioquímica del sistema de aguas. Este indicador es una prueba clave en la contaminación del agua y control del proceso de tratamiento de aguas residuales.

De acuerdo a los diferentes indicadores a medir en la calidad de las aguas, las variables que más fácil exceden los límites permisibles establecidos por las distintas regulaciones son: pH ácidos o alcalinos, sólidos suspendidos, aceites y grasas, temperatura, demanda bioquímica de oxígeno- DBO , demanda química de oxígeno-DQO y metales pesados entre los que se encuentran el plomo, cobre, zinc, hierro, manganeso, arsénico, mercurio, selenio, níquel, cadmio, cromo, cianuro, etc. Todo esto independiente de la forma de vertido, que puede ser de manera continua (procesos en

los que existe una entrada y una salida de agua continúa) o discontinua (que proceden de operaciones intermedias).

De cualquier forma, siempre que existan indicadores que no se encuentren dentro de los parámetros establecidos, la calidad del agua se verá comprometida. Requiriendo de atención para establecer diferentes tipos de tratamientos como alternativas inmediatas, en busca de crear tecnologías más eficientes y limpias, que permitan lograr el equilibrio entre desarrollo y el medio ambiente; así como preservar los recursos hídricos que en su mayoría actúan como receptores de los vertimientos industriales.

1.3.- Tratamiento a residuales industriales líquidos con enfoque sustentable

Las fuentes de aguas son recursos que deben estar disponibles no solo en la cantidad necesaria sino también con la calidad exigida, lo que es de interés global, debido a que es un recurso limitado e indispensable para la existencia de todo ser vivo. La cual debe usarse sin degradarse y constituye uno de los pilares para la armonía en la relación hombre/naturaleza/sociedad.

Los problemas causados hasta la fecha por la era industrial, no son sólo de índole física o estética, sino que trascienden al campo de la sanidad, por lo que las aguas residuales antes de ser vertidas a las masas receptoras deben recibir un tratamiento adecuado de acuerdo a su composición. Capaz de modificar sus condiciones físicas, químicas y microbiológicas, para evitar que se provoquen problemas que acarrea la contaminación de los cuerpos receptores, al hombre y a su entorno.

En su libro de ecología Odum (1986) manifiesta que:

-los ecosistemas de agua dulce proporcionan los sistemas de eliminación de desperdicios más cómodos y baratos. Sin embargo, ya que el hombre está abusando de este recurso natural, está claro que un esfuerzo principal para reducir esta presión ha de producirse rápidamente, pues, en otro caso, el agua se convertirá en el factor limitativo para la especie «hombre»" (p. 20).

Con más ímpetu que nunca el hombre debe lograr el balance entre el desarrollo de las actividades productivas y la protección del medio ambiente; ya que una industrialización como la industria minero-metalúrgica, a cualquier costo, no es una alternativa válida. No siendo posible sostener un crecimiento a largo plazo y un mejoramiento del nivel de vida, si los cuerpos de agua se llegan a contaminar al grado de no poder ser usados.

Es por el bienestar de las presentes y futuras generaciones, que se hace necesario a través de estrategias de prevención resguardar el entorno natural, la pureza, cantidad y calidad de nuestras aguas, de la irresponsable sobreexplotación del sector minero-metalúrgico.``(...) Adoptar esta ética de sentido común, es la única forma en que podemos asegurar que los sueños dorados de la minería no se vuelvan una pesadilla de sueños contaminados'' (De Rosa C. &, 1997)

Solo de esta forma se puede lograr prevalecer el desarrollo sustentable, concebido como fundamento teórico y metodológico, impulsando el desarrollo económico, ecológico y socio-cultural, el cual fue planteado en sus inicios, en la década del 70 bajo el nombre de ecodesarrollo. Luego transitó a través de la década de los 80 con el término de desarrollo sostenible, hasta llegar a la década de los 90 y hacer eco como desarrollo sustentable en la Cumbre de la Tierra, realizada en Río de Janeiro. En esta Cumbre se sostuvo como base el Informe ``Nuestro Futuro Común'', donde se afianzó la necesidad de ``Satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las generaciones del futuro para atender sus propias necesidades'' (Brundtland, 1987).

En el mundo, actualmente la mayoría de las naciones han establecido programas de control a la contaminación, estableciendo restricciones a las descargas de los residuales industriales líquidos a los cuerpos receptores, generalmente a las fuentes hídricas. ``En el caso de los efluentes de las actividades minero-metalúrgicas, los estándares de calidad están referidos a la cantidad de contaminantes presentes en dichos efluentes, con el fin de proteger los cuerpos receptores'' (Puga, 2012).

Lo indiscutible es, que las aguas residuales devenidas del sector industrial minero metalúrgico afectan la vida normal de los cuerpos receptores; realizar un análisis exhaustivo del efluente a tratar es importante. Conocer el proceso industrial que genera el excedente, regularidad de vertimiento y caudal, como su composición físico-química, entre otros aspectos; permite adoptar tratamientos efectivos en la minimización del impacto negativo que provocan al medio ambiente.

Por lo que se establece que el tratamiento a las aguas residuales es el conjunto de procesos industriales destinados a alterar las propiedades o la composición física, química o biológica de las aguas residuales, de manera que se transformen en vertidos inocuos para su recepción y recuperación, o más reducidos en volumen (Puga, 2012).

1.3.1- Tratamientos a aplicar a los residuales industriales líquidos

El tratamiento de las aguas residuales industriales es de suma importancia para el cuidado del medio ambiente y del hombre como especie. Estos sistemas de tratamiento se forman teniendo en cuenta varios procesos o etapas, como plantea Serrano (2006): ``de acuerdo a la remoción de los contaminantes en físicos, químicos y biológicos, dependiendo de las características del efluente a tratar`` (p. 16).

Están diseñados con el fin de convertir el residual, mediante la reducción de los contaminantes orgánicos e inorgánicos, a niveles aceptables para poder ser descargados a los medios receptores o ser reutilizados. Se clasifican según el tipo de proceso, de la siguiente manera:

Tratamiento físico: Son todos aquellos en los que se utilizan las fuerzas físicas para el tratamiento. Se utilizan en todos los niveles. Sin embargo, ciertas operaciones son propias de la fase de pre-tratamiento.

Algunas de las operaciones físicas expuestas por Rodríguez A. L. (2006) consisten en: Tamizado, Homogenización de caudales, Intercepción de aceites y grasas, Mezclado,

Sedimentación, Flotación natural o provocada con aire, Filtración: con arena, carbón, cerámicas, Evaporación, Adsorción: con carbón activo, zeolitas, Desorción: se transfiere el contaminante al aire, Extracción: con líquido disolvente que no se mezcla con el agua.

Tratamiento Químico: Autores como Rodríguez; Letón; Rosal y Dorado (2006) aseguran que los tratamientos químicos: ``Son todos aquellos procesos en los que la eliminación de los contaminantes presentes en el agua residual se lleva a cabo mediante la adición de reactivos químicos, o bien mediante las propiedades químicas de diversos compuestos`` (p. 2). Se utilizan junto con tratamientos físicos y biológicos.

Algunas de las operaciones químicas pueden ser: Coagulación – floculación: Consistente en la agregación de pequeñas partículas con el uso de coagulantes y floculantes (sales de hierro, aluminio y polielectrólitos). Precipitación química: Eliminación de metales pesados los cuales se hacen insolubles con la adición de hidróxido de calcio (lechada de cal), hidróxido de sodio u otros que incrementan el pH. Oxidación – reducción: con oxidantes como el peróxido de hidrógeno, ozono, cloro, permanganato de potasio o reductor como el sulfito de sodio. Reducción electrolítica: Provoca la deposición del contaminante en el electrodo. Se usa para recuperar elementos valiosos. Intercambio iónico: con resinas que intercambian iones, muy utilizado en la eliminación de dureza del agua. Osmosis inversa: Se hace pasar el agua a través de membranas semipermeables que retienen los contaminantes disueltos. Neutralización: con sustancias ácidas o alcalinas, hasta alcanzar un pH neutro.

Tratamiento Biológico: Se basan en fenómenos naturales de degradación, metabolismo y utilización de los productos contenidos en el agua residual según plantea (Seoánez, 1999). Tiene como objetivo la coagulación y eliminación de los sólidos coloidales no sedimentables y la estabilización de la materia orgánica que se encuentra suspendida y disuelta en la misma, mediante la acción de microorganismos.

En este proceso se produce una serie de reacciones bioquímicas mediante las cuales los microorganismos utilizan la materia presente en el agua, la sintetizan y aprovechan la energía. Los procesos de tratamiento biológico se utilizan como tratamientos secundarios y son precedidos por operaciones de filtración, sedimentación y/o separaciones mecánicas. Se pueden clasificar según la presencia o ausencia de oxígeno disuelto en los mismos, en aerobios y anaerobios, donde intervienen microorganismos aerobios o anaerobios. Dentro de los tratamientos biológicos se encuentran los pasivos, que se basan en el reconocimiento del papel que cumplen los procesos naturales en la eliminación de la acidez, sulfatos y metales en las aguas residuales, recayendo en la actividad de las especies biológicas o microbiológicas en su lugar natural.

Para estos tratamientos se utilizan los humedales, ya sean naturales o artificiales. Estudios realizados han mostrado resultados satisfactorios en la reducción de metales pesados y acidez, debido a que dentro de ellos se realiza la filtración, sedimentación, inmovilización física y química, además de la descomposición química y biológica (Puga, 2012).

Los humedales artificiales son sistemas de fitodepuración de aguas residuales, consisten en el desarrollo de un cultivo de macrófitas enraizadas sobre un lecho de grava impermeabilizado. La acción de las macrófitas hace complejas interacciones físicas, químicas y biológicas, a través de las cuales el agua residual es depurada progresiva y lentamente (Delgadillo y Camacho, 2010). Constituyen “fitosistemas”, porque emplean la energía solar a través de la fotosíntesis. Se trata de captar la luz solar y transformarla en energía química, que es usada en su metabolismo para realizar funciones vitales que colaboran en el tratamiento de las aguas.

Existen varios tipos de humedales artificiales, según su clasificación y el tipo de macrofitas que emplee en su funcionamiento. Están las macrofitas flotantes, sumergidas y enraizadas emergentes; estas últimas se encuentran divididas en dos

grupos, según su flujo: los humedales artificiales de flujo superficial y los de flujo subsuperficial ya sea horizontal o vertical (Delgadillo, O. 2010).

Muchas de estas tecnologías no son exclusivas, sino que se combinan varios procesos para obtener un mejor tratamiento. Se hace necesario además aplicar fases como: pre-tratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario o avanzado (Junco y González, 2007).

El pre-tratamiento de las aguas residuales es un tratamiento previo, diseñado para remover partículas grandes, se realiza para preservar las instalaciones mediante la eliminación de aquellos constituyentes que pueden provocar problemas posteriores en el funcionamiento de las diferentes operaciones y procesos (Rivas M. G., 1978).

En esta primera etapa se emplean procesos físicos o mecánicos para la separación de sólidos groseros, tales como tamices, rejillas, cribas de malla fina, desmenuzadora y separadora de aceite y grasa.

Tratamiento primario: Su objetivo es preparar al residual para recibir el tratamiento fundamental, químico o biológico. Se elimina un gran porcentaje de sólidos en suspensión, sobrenadante y materia inorgánica. Se hace sedimentar los materiales suspendidos con el uso de tratamientos físicos o físico-químicos. También se utiliza la flotación (Rivas M. G., 1978).

Las operaciones que incluye son el desaceitado y desengrase, la sedimentación primaria, la filtración, la neutralización y la desorción. Estos procesos se realizan en depósitos o estanques descritos por diferentes autores como (Menéndez, 2007). Aunque en ocasiones ha sido necesario recurrir al empleo de métodos biológicos en este tratamiento.

El tratamiento secundario: constituye el proceso principal del sistema de tratamiento para residuales líquidos. En esta fase del tratamiento se produce la eliminación tanto

de los sólidos en suspensión y compuestos orgánicos biodegradables del residual mediante procesos biológicos, así como la eliminación de otros contaminantes de carácter inorgánico mediante procesos químicos, todo está en dependencia de la composición de dichos residuales.

Expertos en esta materia como Rodríguez A. L. (2006) exponen que:

- en el caso de residuales orgánicos el tipo de tratamiento más empleado en este nivel es el biológico, donde se produce la estabilización de la materia orgánica biodegradable mediante la acción de los microorganismos. Aunque para la mayoría de los casos, el tratamiento secundario sea suficiente, en determinadas circunstancias se hace necesario un tratamiento terciario o avanzado en el cual mediante procesos biológicos, químicos, físico - químicos o combinaciones, se logra eliminar otros componentes cuya reducción no ha sido posible en el tratamiento anterior (p. 22).

Esta etapa adquiere gran importancia en la actualidad, debido a la necesidad de una mayor eficiencia en el tratamiento y gestión de las aguas residuales con vistas a lograr la calidad necesaria para su disposición final.

Mediante varios estudios Rolim M. S. (2000) demuestra que es posible combinar y complementar diferentes métodos de tratamiento donde predominan los fenómenos físicos, con aquellos en los que la eliminación de los contaminantes se realiza mediante procesos químicos o biológicos conocidos como procesos unitarios para lograr diversos niveles de tratamiento a las aguas.

Se destaca que en muy pocas ocasiones se encuentra que un solo indicador de las aguas residuales industriales exceden las normas, generalmente son varios.

Cuando las aguas excedan a la norma sólo en lo relacionado a los sólidos suspendidos, el tratamiento es con pozas de sedimentación o decantación, con o sin uso de coagulantes y/o floculantes. La presencia de metales disueltos excedentes a las normas vigentes, conlleva al tratamiento de precipitación química como hidróxidos (usando lechada de cal, hidróxido de sodio u otro hidróxido alcalino) o como sulfuros (usando sulfuro de sodio, sulfuro de potasio u otro sulfuro).

La neutralización es otra práctica simple y común empleada en el control de los efluentes a nivel mundial, con cal, dolomita, soda cáustica, amonio o cenizas, para aguas ácidas y con ácido sulfúrico para las básicas. ``Estas prácticas permiten precipitar los metales pesados presentes en el efluente. La destrucción de reactivos orgánicos residuales es posible también vía degradación en tierras húmedas o Wetlands`` (Santander, 2011).

Los sulfuros presentes en las descargas hídricas, que exceden los límites permisibles para su vertimiento, son necesarios tratarlos, Coira (2003) a través de sus estudios establece diferentes métodos para su tratamiento, tales como la precipitación de los sulfuros por formación de especies metálicas, aunque este método puede provocar la transformación de un problema ambiental en otro, debido a que la eliminación del sulfuro genera la obtención de otro residuo sulfuroso metálico difícil de manejar.

Otro tratamiento es la inmovilización química consistente en la solidificación del líquido por reacción frente a absorbentes minerales, que aprovechan concentraciones residuales de especies metálicas como agentes de precipitación.

La oxidación química, es el método de mejores resultados, ya que el anión sulfuro es fácilmente oxidable a la forma neutra, cualquier oxidante cuyo potencial tanto en medio ácido como alcalino, sea más positivo que el valor de los sulfuros, oxidará a estos a azufre o a la forma de sulfato. Sin embargo, para la eliminación de sulfuros en altas concentraciones es recomendable en medio alcalino, debido a las emisiones de gas sulfhídrico en medios ácidos.

Es innumerable la variedad de tratamientos aplicables a los efluentes industriales, enmarcados según las características de dicho residual; constituyen ejemplo de ello: la implementación de la primera planta de tratamiento de efluentes en el mundo, instalada en Chile en (Punta Chungo-Los Pelambres) para la reutilización del agua para regadío a través del proceso de flotación. La aplicación de la dolomita en Perú, como método

alternativo de precipitación y purificación de los efluentes de la industria metalúrgica, con la finalidad de reducir la concentración de metales pesados (Romero; Flores y Arévalos, 2010).

Países como Australia se caracterizan por ser líder en el mundo en cuanto a las prácticas ambientales y tener bajos índices de contaminación a través de un trabajo estrecho con las empresas minero metalúrgicas, donde establecen un Programa de Mejores Prácticas para la Gestión Ambiental que cuenta con legislaciones y regulaciones específicas que controlan y protegen los recursos hídricos estableciendo los límites de emisión de contaminantes a cuerpos de agua.

Cuba también tiene como prioridad en los últimos años la temática de los tratamientos a los efluentes líquidos de las industrias minero metalúrgicas, a partir de su caracterización; muestra de ello son las investigaciones de Astorga (1991), Alfonso (1998), Aguirre J. (1993) a), Aguirre J. (1993) b), Labadié J. S. (1993), entre otros. Se concibe que los efluentes líquidos que presentan altos parámetros de sólidos en suspensión, constituyen la mayor carga contaminante que se vierte al medio ambiente en el Municipio de Moa, por parte de las empresas productoras.

Se establecen algunos métodos de tratamiento a los residuales industriales mineros metalúrgicos líquidos, donde resaltan los adoptados en las plantas de lixiviación ácida de la Empresa Comandante Pedro Sotto Alba para tratar los residuales líquidos ácidos. Entre los trabajos más relevantes y que se encuentran implementados están los de Labadié J. M. (1986), Labadié J. S. (1993), en estos se emplean tratamientos a los residuales de esta fábrica, a través de la neutralización de los residuales líquidos ácidos con pulpa de coral y cal.

Para la descontaminación del licor residual WL, Cueto (2003) propone diferentes procesos entre las que se encuentra su unión con las colas de mineral y otros reactivos; mientras Granda y Astorga (1992), Granda y Astorga (1993) demuestran la

recuperación de Ni de los residuales líquidos de la planta de lixiviación ácida con el uso de la serpentina.

El Proyecto 600199 realizado por la investigadora Rivas R. S. (2017) en la Empresa Ernesto Che Guevara, para el tratamiento a los residuales industriales líquidos vertidos por esta empresa, a través de cinco canalizaciones para el trasiego hasta la zona costera de estos efluentes provenientes del proceso fabril, donde se demostró las altas concentraciones de sólidos en suspensión y elementos como: níquel, aceite y grasas y nitrógeno, que se encuentran fuera de los límites permisibles para su vertimiento según lo estipulado en las normativas cubanas. En la investigación se proponen acciones encaminadas a la recuperación del agua desechada por esta empresa para su reincorporación al flujo tecnológico y tratar mediante el proceso de coagulación/floculación los sólidos suspendidos, en el caso del nitrógeno aplicar el intercambio iónico utilizando la zeolita.

Queda claro que existen diferentes tipos de procesos a utilizarse en el amplio espectro de los tratamientos de los residuales industriales líquidos generados por la industria minero metalúrgica, encaminados a reducir o eliminar las concentraciones de contaminantes, así como disminuir la producción de efluentes aplicando la reutilización. Pero no se refleja con claridad un procedimiento a seguir, que responda a la problemática planteada en la presente investigación, lo cual sería la guía perfecta para cumplir con los valores permisibles establecidos por las diferentes normativas en el ámbito ambiental y sus recursos hídricos.

1.4.-Procedimientos para tratamientos a residuales industriales líquidos

Con vista a mitigar los efectos adversos que impone la actividad humana sobre el medio ambiente, urge establecer mejoras en el tratamiento de los residuales industriales líquidos de la actividad minero metalúrgica. Se pretende que a través de la implementación de procedimientos, se obtengan vertimientos a los medios receptores con menores cargas contaminantes y así convertir el efluente en menos inícuo, respondiendo al cumplimiento de las normas reguladoras.

A partir de lo establecido en la Norma ISO 9001:2015 y lo que manifiesta el Diccionario de la Real Academia Española, se entiende como procedimiento a la acción que consiste en proceder, que significa actuar de forma determinada. Siguiendo ciertos pasos predefinidos para realizar una labor de manera eficaz. Con un objetivo único y de fácil identificación.

Un procedimiento es todo aquel método o sistema mediante el cual se puede ejecutar algo o el método que se implementa para llevar a cabo ciertas cosas, tareas o ejecutar acciones (Mardones, 1991). Además de seguir una serie de pasos bien definidos que permitirán y facilitarán la realización de un trabajo de la manera más correcta y exitosa posible.

Precisamente uno de los objetivos de seguir un procedimiento en este estudio de caso, es garantizar el éxito de la acción que se lleva cabo y más cuando son varias las personas o entidades que participan en el mismo, que requerirán de la observación de una serie de estadios bien organizados.

Sobre la necesidad de la aplicación de este tipo de estrategias alertó Díaz (1987): `` que sí se consideraba como un sistema único el proceso tecnológico, el sistema de tratamiento y el vertimiento final, era posible llegar a soluciones más económicas y eficientes” (p. 30).

Para la confección de un correcto procedimiento encaminado al tratamiento de los residuales industriales líquidos, se tendrán en cuenta una serie de datos que brindaran la mayor cantidad de información posible como: procesos de producción que se realiza; vertimientos que se generan; materias primas que se utilizan y composición (ya que estos indican la presencia de diferentes elementos de interés para la determinación de los indicadores a considerar en la evaluación de las aguas residuales). Identificación del cuerpo receptor para la selección de la norma de vertimiento; definición del tipo y número de muestreo, frecuencia, entre otros aspectos.

No obstante, estos procedimientos podrán estar sujetos a revisiones y cambios siempre que se precise. Contribuye a favorecer la situación ambiental en las empresas, al poder tener caracterizados sus residuos y agresividad, los indicadores de contaminación que incumplen de acuerdo a las normas de regulación, el tratamiento que requieren y su reducción. Este conjunto de procesos, métodos y operaciones debe ejecutarse bajo la supervisión de los directivos de las entidades y otras organizaciones autoritarias en materia ambiental. (Alvariño, 2006).

Entre la bibliografía consultada sobre los diferentes procedimientos y manuales establecidos en el mundo para el tratamiento de las aguas residuales industriales, se tuvieron en cuenta varios aportes científicos brindados por autores como (Ramos y otros, 2005; Andrade, 2015; Navarro, 2007; Cardona, 2016).

De manera más exhaustiva se realizó el análisis de dos casos de estudio que se relacionan a continuación, referentes a procedimientos para el tratamiento de residuales líquidos en el sector industrial cubano; los mismos son trabajos que tienen gran similitud al objetivo planteado en esta investigación por lo que aportaron al desarrollo de la misma.

En el primer caso Sánchez L. E. (2012): Procedimiento para el manejo de residuales líquidos industriales. Aplicación de Gydema, Cienfuegos. Los autores hacen énfasis en que la aplicación de los procedimientos como forma especificada para llevar a cabo un proceso, son una aplicación válida para lograr un manejo adecuado de los sistemas de tratamiento a los residuales industriales líquidos. El procedimiento genérico que expone este ensayo científico, consta de cinco etapas, enfocadas en las mejores prácticas y como tratamiento establece unir los efluentes de esta empresa con las aguas albañales del poblado más cercano, permitiendo que disminuya las concentraciones de materia orgánica, nitrógeno total y sólidos totales, que en la caracterización inicial fueron las que excedieron lo establecido por la normativa.

Las contribuciones realizadas por parte de Sánchez L. E. (2012) a la investigación que se desarrolla, es sobre algunas etapas iniciales de su propuesta de procedimiento, donde se tomó como referencia la etapa primera y segunda, para poder desarrollar una propuesta de tratamiento específica y más enfocada.

Como segundo caso se tiene a Arias (2018): Propuesta de tratamiento para residuales de la fábrica de marmolosa en Santiago de Cuba. Los autores establecen un procedimiento cercano a lo que se pretende alcanzar en esta investigación. La referencia bibliográfica específica muestra una propuesta de tratamiento encaminada en primer lugar a la sedimentación, neutralización y posteriormente a la recirculación del efluente nuevamente al proceso de la fábrica, idea esta que se pretende proyectar en la Planta Piloto del CEDINIQ. Se tomó además en cuenta el orden sucesivo para la etapa de la caracterización, como también algunas ideas enfocadas en las propuestas de tratamiento, de acuerdo a las particularidades del efluente generado por el objeto de estudio.

Ambas investigaciones se desarrollan con la mayor atención al medio ambiente y de manera óptima para el beneficio de la salud humana. Persiguen que los efluentes antes de ser vertidos tengan la mayor calidad en función del desarrollo humano sustentable; por lo que la aplicación de procedimientos es una opción válida para lograr un manejo adecuado de los sistemas de tratamiento de aguas residuales industriales de conjunto a las regulaciones establecidas por organismos competentes en materia ambiental.

1.5.-Normas que regulan el vertimiento de residuales industriales líquidos

Con la creciente preocupación por la protección del medio ambiente, el uso sustentable de sus recursos naturales, y las consecuencias que la actividad humana tiene sobre éste, se ha logrado mayor conciencia sobre los impactos negativos que genera la contaminación ambiental. Lo que ha impulsado a que el estado y la sociedad en su conjunto, establezcan instrumentos jurídicos, leyes y normativas que regulen la conservación, protección, mejoramiento y transformación del medio ambiente, así como el uso racional de los recursos naturales.

Varios países en el mundo han adoptado leyes para el cuidado y conservación del medio ambiente, fundamentalmente en el sector minero-metalúrgico, haciendo hincapié en el vertimiento de las aguas residuales industriales; en la vanguardia se pueden citar países como Australia, Chile, Canadá, Perú, China, entre otros.

En el ámbito nacional Cuba también ha demostrado concientización por el logro de un desarrollo sustentable, estableciendo normas y leyes para evitar el deterioro del entorno ambiental; con un profundo carácter social el estado cubano hace que la protección del medio ambiente tenga un marcado carácter popular, con la más amplia participación de todos, en esta sección se realiza un bosquejo sobre las mismas.

El marco legislativo básico general lo ha de constituir la Carta Magna, Ley Suprema de nuestra nación, la misma expone que todas las personas tienen derecho a disfrutar de un medio ambiente sano y equilibrado. Que el estado debe proteger el medio ambiente y los recursos naturales del país, para hacer más racional la vida humana y asegurar la supervivencia, el bienestar y la seguridad de las generaciones actuales y futuras.

Los Lineamientos de la Política económica y social del Partido y la Revolución (2011) en su sexto Congreso hacen alusión sobre la necesidad y búsqueda de la eficiencia en el uso de los recursos por parte de las empresas, y la conservación y el uso racional de los recursos naturales como el agua.

Existe además la Ley 81 del Medio Ambiente (1997) que como objetivo tiene establecer los principios que rigen la política ambiental y las normas básicas para regular la gestión ambiental del Estado y las acciones de los ciudadanos y la sociedad en general, a fin de proteger el medio ambiente y contribuir a alcanzar los objetivos del desarrollo sostenible del país. Plantea además principios donde la calidad del agua es fundamental, estableciendo que las descargas hídricas provenientes de la actividad económica y social antes de ser vertidas a los medios receptores que puedan provocar contaminación deberán ser objeto de tratamiento adecuado; a través de tecnologías

eficientes que reduzcan al mínimo la contaminación y favorezcan la reutilización de las aguas.

Otras acciones reguladoras para la preservación del medio ambiente es el establecimiento de la Estrategia Ambiental Nacional, la cual es la política ambiental cubana, donde se plasman sus proyecciones y directrices; así como el Programa Nacional de Medio Ambiente y Desarrollo, que es la proyección concreta de la política ambiental de Cuba, para la acción de los que intervienen en la protección del medio ambiente y el logro del desarrollo sostenible, constituyendo la adecuación nacional de la Agenda 21. (CITMA, 2009).

La Norma Internacional ISO 14001/2015. Sistemas de Gestión ambiental-Requisitos con orientación para su uso. Tiene como propósito proporcionar a las organizaciones un marco de referencia para proteger el medio ambiente y responder a las condiciones ambientales cambiantes, en equilibrio con las necesidades socioeconómicas.

Se toma en consideración que el agua es un recurso natural único y escaso, esencial para la vida y las actividades productivas, y por tanto directamente relacionado con el crecimiento económico, una de las metas ambientales más importantes ha estado enfocada a mejorar la calidad de sus aguas a través de distintos instrumentos de gestión ambiental como es la Ley Nro. 124. De las aguas terrestres (2017). Esta regula la gestión integrada y sostenible de las aguas terrestres que se encuentran dentro de la corteza terrestre o encima de ella, independientemente de su composición física, química o bacteriológica, en el espacio que conforma la parte emergida del territorio nacional limitado por la línea de costa. En esta Ley se determina que los centros de producción y servicios están obligados a garantizar el adecuado tratamiento de los residuales líquidos y su correcta disposición final.

Otra de las Normas Cubanas es la 521/2007. Vertimiento de aguas residuales a la zona costera y aguas marinas.- Especificaciones. Que regula el vertimiento de todas las aguas residuales generadas por las actividades socioeconómicas a la zona costera y a

las aguas marinas, y tiene como objetivo prevenir la contaminación de los ecosistemas marinos y marino costeros. Se aplica a todos los vertimientos de aguas residuales en los límites de la zona costera del territorio nacional y de las aguas marinas jurisdiccionales de la República de Cuba.

Se encuentra además el instrumento jurídico Norma Cubana 27/2012. Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado. – Especificaciones. Que establece las especificaciones para el vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado y se aplica a todas las aguas residuales generadas por las actividades sociales y económicas, como son las domésticas, municipales, industriales, agropecuarias y de cualquier otro tipo.

En el caso particular de la Norma Cubana 27/2012, es la que se implementará con el objeto de estudio, la idea básica apunta a controlar los contaminantes asociados a los residuos líquidos industriales que se descargan a estas aguas, con el fin de lograr avanzar en el mejoramiento de la calidad ambiental de ellas, garantizar la calidad de las aguas terrestres mediante la regulación de las descargas de residuos a estas, que a su vez servirá de base para la elaboración de estrategias de saneamiento que contribuyen a la protección de las fuentes de abasto a la población, los cursos naturales de las aguas y las aguas subterráneas.

CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO I

Del estudio epistemológico se concluye que:

1. Las investigaciones realizadas en el mundo y en Cuba hasta la actualidad sobre los residuales industriales líquidos están dirigidas a establecer tratamientos físico-químicos-biológicos o una combinación de estos, que conforman los procedimientos para el tratamiento adecuado de los efluentes que son vertidos y contaminan los medios receptores; rompiéndose el equilibrio que debe existir en la relación hombre/naturaleza/sociedad.
2. En la Planta Piloto del Centro de Investigaciones del Níquel ``Capitán Alberto Fernández Montes de Oca`` no existe procedimiento para el tratamiento de los efluentes generados, que contribuya al desarrollo sustentable de la industria minero-metalúrgica.

CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS

Toda investigación requiere el empleo de una metodología de trabajo para la obtención y confiabilidad de los objetivos planteados en la misma, donde la adecuada selección de los métodos y materiales que se utilizan certifican los resultados logrados en un profundo proceso investigativo. Por tal motivo, en este capítulo se detallan los métodos y técnicas empleadas para la toma de muestras y la caracterización, desde el punto de vista físico-químico, de los residuales industriales líquidos provenientes de la Planta Piloto del CEDINIQ. Todo ello, para establecer propuestas de tratamientos fundamentados que contribuyan a la minimización de la contaminación ambiental y al logro de un desarrollo sustentable que urge implementar en los tiempos actuales.

2.1. Métodos empleados en la investigación

La presente investigación posee un carácter descriptivo, según el criterio de autores como Hernández; Fernández y Baptista (2014) se expone que este tipo de investigaciones se fundamentan en especificar propiedades, características y rasgos importantes de un fenómeno en específico; en el caso de estudio a tratar contribuye a conocer las características particulares de los efluentes provenientes de la Planta Piloto durante sus corridas experimentales.

Se basa en un diseño no experimental, porque lo realizado en esta investigación es observar los fenómenos tal como se dan en su contexto natural, sin ser manipuladas las variables; para luego ser analizados, y se clasifica en longitudinal con diseño de panel, ya que recopila información sobre un mismo fenómeno en diferentes momentos, para dar conclusiones sobre su comportamiento y evolución.

Los componentes metodológicos utilizados se fundamentan en la complementariedad metodológica mixta, consistente en la combinación de las perspectivas cuantitativas y cualitativas de la investigación, llegándose a obtener un resultado científico. Este enfoque metodológico es distinguido por el empleo en conjunto de métodos y técnicas para lograr una mayor viabilidad en la investigación y que los datos recogidos sean

más verídicos así como su resultado final. Se logra un enfoque mixto en el cual se elaboran datos estadísticos analizados cuantitativamente por medio de tablas y gráficas y cualitativamente a partir de sus análisis. Se utiliza la triangulación de métodos, haciéndose indispensable utilizar métodos y técnicas de ambas perspectivas metodológicas.

Para el desarrollo de la investigación se utilizaron además, métodos empíricos, estadísticos y teóricos que posibilitaron el cumplimiento del objetivo investigativo, siendo el método, el modo de alcanzar el objetivo trazado, la forma de abordar la realidad, de estudiar los fenómenos de la naturaleza, la sociedad y el pensamiento, con el propósito de descubrir la esencia de los mismos y sus relaciones.

Dentro de los métodos teóricos utilizados se encuentran:

Análisis y síntesis: El análisis es el proceso por el cual se examina un objeto en sus partes dirigido a lo individual, mientras que la síntesis es la unión de lo que se adquiere en el análisis, es decir, nos aporta el todo, lo general. Este método se empleó para el procesamiento de la información obtenida sobre el tema de investigación, en el análisis de la bibliografía consultada, para desarrollar el posicionamiento científico a partir de los términos de residuales industriales líquidos, provenientes de la actividad minero-metalúrgica y sus respectivos tratamientos. Se tuvo en cuenta los criterios dados por los diferentes autores.

Análisis histórico-lógico: El método histórico-lógico permite indagar en los referentes teóricos que identifican las relaciones entre el proceso cognoscitivo lógico y el desarrollo histórico de los procesos en su conjunto y del conocimiento en particular. El mismo fue aplicable para estudiar las aguas residuales desde sus inicios, así como los diferentes tratamientos y procesos desarrollados en Cuba y en el mundo, donde resalta la aplicación de procedimientos como mecanismos eficientes para mitigar la contaminación ambiental, opción esta adoptada en la investigación presente y sustentar de esta forma científica la investigación.

Inducción – deducción: Es un proceso que permite la búsqueda de información, toma como referencia la relación de los aspectos generales a los particulares y viceversa (Taylor, 1984). Permite abordar los referentes teóricos que se utilizan para sustentar la indagación científica, así como las investigaciones precedentes aplicadas a los residuales industriales líquidos de las actividades minero metalúrgicas.

Los métodos empleados incluyen diversas técnicas que permiten una mayor fiabilidad de la investigación; por tanto, la técnica es un conjunto de reglas y operaciones para el manejo de los instrumentos que auxilia al investigador en la aplicación de los métodos.

Técnicas utilizadas:

- ✓ Las técnicas documentales: se aplicaron a lo largo de toda la investigación, lo que permitió recurrir y revisar un mayor número de documentos y fuentes de importancia con respecto a la Planta Piloto del Centro de Investigaciones del Níquel en Moa, como las fichas bibliográficas y de contenido que aportaron datos y elementos para organizar la bibliografía consultada, clasificar el material recopilado y la información que ha sido de interés; para extraer las ideas más importantes acerca de los residuales industriales líquidos, fundamentalmente en la industria minero metalúrgica y los diferentes tratamientos que se pueden aplicar para revertir el impacto negativo que causan estos sobre el medio ambiente.
- ✓ El uso de tablas y gráficas: para una mayor claridad y análisis de los datos estadísticos.
- ✓ Análisis de contenido: permite analizar la información existente de acuerdo con el tema, originada a partir de los documentos consultados, materiales recientes del Centro de Investigación del Níquel en Moa y su Planta Piloto, trabajos investigativos, artículos de revistas científicas, Tesis de grado, Maestrías y Doctorados.
- ✓ La entrevista enfocada: constituye una vía importante para la obtención de informaciones concretas sobre el tema de investigación. Está dirigida a aquellos

informantes claves que tomaron parte en el desarrollo de la labor fundamental en la Planta Piloto del CEDINIQ y se enfoca hacia elementos concretos e importantes dentro de la indagación; estas entrevistas estuvieron dirigidas a tecnólogos de la Planta Piloto con mayor experiencia y permanencia en el puesto, así como a investigadores categorizados que han desarrollado proyectos investigativos y servicios en dicha planta; que poseen conocimientos sobre el tema relacionado.

- ✓ Observación participación: permite la intervención directa del investigador en el control y fiabilidad de los resultados alcanzados en el estudio y análisis de los residuales industriales líquidos provenientes de la Planta Piloto del CEDINIQ.
- ✓ El muestreo empleado es el no probabilístico, de gran utilidad cuando la elección de la muestra no depende de la probabilidad sino de las características de la investigación.

2.2.- Caracterización de la Planta Piloto del Centro de Investigaciones del Níquel ``Capitán Alberto Fernández Montes de Oca``.

El Centro de Investigaciones del Níquel ``Capitán Alberto Fernández Montes de Oca`` (CEDINIQ) radica en el Municipio de Moa, Provincia Holguín; con domicilio legal en el Km 7 s/n Carretera Moa-Baracoa, cuenta con una estructura empresarial compuesta por ocho áreas, las que se relacionan a continuación: Dirección General, Dirección Desarrollo Industrial, Dirección Recursos Humanos, Dirección Economía y Finanzas, Dirección Aseguramientos, Unidad de Proyecto Laboratorio, Unidad Proyecto Nicaro y Unidad Proyecto Investigaciones.

Todas estas áreas de trabajo permiten desarrollar las variadas actividades que responden al objeto empresarial del centro, consistente en desarrollar proyectos de investigación científica e innovación tecnológica relacionados con la optimización de tecnologías no contaminantes de extracción y procesamiento de minerales y comercializar los resultados derivados de esa actividad para brindar servicios

científicos y tecnológicos relacionados con la toma, preparación, caracterización de muestras y operaciones unitarias en procesos industriales.

La Unidad de Proyectos Investigaciones (UPI) juega un papel fundamental dentro del CEDINIQ, sobre ella recae el mayor rigor científico, su rol se desempeña en el mejoramiento de la eficiencia metalúrgica, el mejoramiento de los productos finales, mejoramiento de las tecnologías actuales, la diversificación de la producción, tratamiento y aprovechamiento de los residuales. Dentro de la UPI se encuentra la Planta Piloto, (Figura 2.1, Anexo 1) una de las instalaciones más importantes del CEDINIQ; efectúa investigaciones de los minerales lateríticos para las mejoras en las diferentes etapas del proceso amoniacal de extracción de níquel, tiene una capacidad de 20 a 30 t/día y cuenta con las siguientes áreas: almacenaje del mineral húmedo, secado y molienda, reducción, lixiviación y lavado, e instalaciones auxiliares.

En esta instalación se han obtenido marcados logros a través de investigaciones que mejoraron la eficiencia extractiva del níquel y cobalto de las empresas productoras en el Municipio, propicia el ahorro de millones de dólares al país por el concepto de disminuir los costos de operación y gastos de energía. A su vez como resultado de las operaciones que se llevan a cabo en ella, se vierten al medio ambiente una gran cantidad de residuos líquidos producto de las aguas utilizadas en procesos tecnológicos que se obtienen de los sistemas de limpieza de secadero, molienda, de las camisas de enfriamiento de hornos, de los análisis extractables de densidad (QT) luego de ser analizados y de salideros de los tanques de almacenamiento de licor fresco y licor producto, constituyendo así la materia prima de esta investigación.

Estas aguas residuales provenientes de los procesos tecnológicos poseen un caudal con una estimación de 864 m³/ día, que en su mayoría se vierten en la piscina de recolección (Figura 2.2, Anexo 1) que por reboso salen a las canalizaciones, otros son vertidos directamente en las zanjas que lo llevan hasta su medio receptor que es el río Yagrumaje. Estos efluentes contienen soluciones amoniacales con altas

concentraciones, sedimentos, que causan contaminación a las aguas superficiales y subterráneas.

Los principales residuales generados por la planta piloto son:

- ✓ Licor producto derramado: de color intenso con densidad de 1.02 g/L, temperatura entre 40-46 °C, y una composición que se muestra en la Tabla 2.1 del Anexo 2.
- ✓ Colas derramadas: lodo exhausto de color negro con densidad en el rango de 1700-1800 g/L y temperatura de 42 °C. La composición química que presenta su fase sólida es: Ni (0,15 – 0,2) %; Co 0,083 %; Fe, tot. 45 %. En fase líquida: Ni 0,018 %; Co 0,083 %; NH₃ 55 g/L, CO₂ 27,5 g/L.
- ✓ Emanaciones de gases producto a la combustión en el Horno de Reducción.

Estos residuales de forma general presentan características como:

- ✓ pH ≥ 6- 9.
- ✓ Contenido de metales: ((Ni ≥ 0 -5) g/L; Co ≥ (0 -0.4) g/L; Fe ≥ 0 -0.04g/L).
- ✓ Sólido en suspensión ≥ (0-600) ppm.
- ✓ NH₃: 5-10 g/L promedio.

Estas características pueden variar debido al tipo de mineral o corrida experimental que se desarrolle en la Planta, no siendo estáticos estos valores.

2.3.- Población y Muestra

La población en este caso de estudio comprende todos los efluentes provenientes del proceso tecnológico de la Planta Piloto del Centro de Investigaciones del Níquel "Capitán Alberto Fernández Montes de Oca".

Para la toma de muestras se determinaron tres puntos de muestreo: el Punto número 1, efluentes que se encuentran en la piscina de recolección de la Planta Piloto; el Punto

número 2, residuales líquidos de la zanja de canalización a la salida de la Planta Piloto y el Punto número 3, aguas abajo del punto de vertimiento al Río Yagrumaje.

Las muestras fueron tomadas una vez por semana en los tres puntos seleccionados, durante tres meses, que es el período que duran las corridas experimentales. Las Tablas 2.2 y 2.3 Anexo 2, exponen los valores promedios en cada punto de muestreo.

2.4.- Metodología empleada para la toma y caracterización de las muestras

Como primer paso se procedió a la toma de las muestras en los puntos de muestreo seleccionados. Para ello se utilizó un toma muestra rudimentario (Figura 2.3), consistente en un pomo plástico insertado a un tramo de tubo de pvc.



Figura. 2.3. Toma muestra rudimentario empleado en la investigación.

Se realizó el endulce de los recipientes para evitar la contaminación de las muestras, y se llenaron completamente los envases, para evitar la concentración de oxígeno. Las muestras fueron almacenadas en envases plásticos de ½ Litro con tapa de rosca para garantizar su seguridad.

Una vez tomadas las muestras, fueron trasladadas al laboratorio analítico del CEDINIQ, pasando por el Departamento de Calidad para su codificación y luego al Grupo de Ensayos Ambientales donde se realizara la caracterización físico-química. Este laboratorio se encuentra acreditado en 12 ensayos para aguas potables y residuales según las diferentes normas establecidas.

Se procedió al pesaje según lo establecido por las normas de trabajo en laboratorio, para ello se utilizó balanza electrónica analítica RANDWAG modelo XA-220. Las

muestras pesadas fueron preparadas según los diferentes métodos para la caracterización físico-química y su posterior análisis de acuerdo a los indicadores establecidos en la norma NC 27/2012.

Para el procesamiento estadístico de la información obtenida de las muestras se empleó PC marca Samsung, con ambiente Windows XP. Los textos se procesaron con Word XP y las tablas y gráficos con Excel XP.

2.4.1.-Materiales y técnicas utilizados en la caracterización de las muestras

Técnicas analíticas empleadas:

- ✓ Método gravimétrico para la determinación de los sólidos totales y sólidos suspendidos.
- ✓ Método volumétrico para la determinación de dureza total, alcalinidad y sulfuros.
- ✓ Método electrométrico para determinar pH y conductividad.
- ✓ Método volumétrico valorado por destilación para determinar amoníaco en agua.

Materiales utilizados:

Cristalería:

- ✓ Para la determinación de metales se utilizó: volumétrico de 50 mL, volumétrico de 100 ml, pipetas de 2,5 mL o 10 mL.
- ✓ Para determinar pH se necesitó pipeta graduada de 10 ml, matraz de 1000 ml, frasco lavador, vasos precipitado de 100 o 250 mL.
- ✓ Para sólidos totales pipeta de 25 y 50 mL, capsula de porcelana de 90 mm.
- ✓ Para sólidos suspensión, crisoles de porcelana Gooch, probeta de 100 mL, quitasato.
- ✓ Para dureza total, pipeta de 25 y 100 mL, bureta de 25 mL, Erlenmeyer de 250 mL, volumétrico de 250 y 1000 mL, vaso de precipitación de 50, 250 y 1000 mL.
- ✓ Para alcalinidad, bureta de 25 mL, Erlenmeyer de 250 mL, volumétrico de 250 y 1000 ml, pipetas aforadas de 20, 25, 50 y 100 mL.

- ✓ Para Amoniac: Erlenmeyer de 250 mL, bureta de 50 mL, pipeta de 5 mL, probeta de 100 ml, frasco lavador.

Miscelánea:

- ✓ Para determinación de metales se utilizó: aire purificado y seco, acetileno, agua libre de metales, gas óxido nitroso, ácido nítrico concentrado.
- ✓ Para sólidos totales placas de evaporación de 100ml, desecador.
- ✓ Para sólidos suspensión, papel de filtro cuantitativo.
- ✓ Para dureza total, papel de filtro, embudo, soporte universal.
- ✓ Para amoniaco, papel para secar pipeta, bulbo de succión, pinza y soporte universal.
- ✓ Para la alcalinidad, soporte universal.

Reactivos:

- ✓ Para pH, cloruro de potasio.
- ✓ Para dureza total, disolución de EDTA.
- ✓ Para alcalinidad, solución indicadora de fenolftaleína y bromocresol verde, ácido clorhídrico, disolución de ácido clorhídrico de concentración 0,02 mol/L.
- ✓ Para amoniaco: disolución de ácido bórico al 4 %, disolución de ácido clorhídrico, solución indicadora de metil naranja.

Equipos.

- ✓ Balanza electrónica analítica RANDWAG modelo XA-220 para las determinaciones del peso de las muestras. Fig. 2.4, Anexo 1.
- ✓ Horno de secado para operaciones de 103 – 105 °C. Modelo MEMMERL. Fig. 2.5, Anexo 1.
- ✓ Bomba de vacío, marca VAKUMMPUMPE MZ2C, serie nro. 29600023. Fig. 2.6, Anexo 1.
- ✓ Espectrofotómetro de Absorción Atómica con llama ATI UNICAM modelo Sp 9-200, de 220 V y 60 HZ, con captación de ondas espectrometral, para la determinación de Ni, Co, Zn, Cu, Cr, Al, Si, V, Pb. Figura 2.7, Anexo 1.

- ✓ pH-metro marca Nahita Precise pH Meter modelo 903, Figura 2.8, Anexo 1, para la determinación electrométrica del pH.
- ✓ Equipo medidor de conductividad eléctrica marca WTW inoLab modelo cond-7310. Para obtener la conductividad eléctrica en las muestras de agua. Figura 2.9, Anexo 1.
- ✓ Mufla con indicador de temperatura. Figura 2.10, Anexo 1.
- ✓ Plancha de calentamiento.

2.5.- Resultados de la caracterización de las muestras

Los resultados de la caracterización físico-química de las muestras obtenidas de los diferentes puntos de muestreo y su comparación con los valores permisibles según la norma NC 27:2012, se exponen en las Tablas 2.2 y 2.3. Anexo 2.

En la Tabla 2.2 correspondiente al contenido de los elementos metálicos presentes en los efluentes de la Planta Piloto se pudo constatar que en ninguno de los casos se exceden los límites permisibles establecidos por la Norma Cubana 27:2012. No formando estos fuentes de contaminación, sin embargo, aunque no constituyan una fuente de contaminación, debe considerarse en el tratamiento a realizar, la posibilidad de recuperar alguno de estos metales.

Mientras que en la Tabla 2.3, referente a los indicadores de la calidad del agua se observa que:

- ✓ El Punto 1, muestra tomada de los efluentes de la piscina de recolección de la Planta Piloto, los sólidos sedimentables y los sulfuros son los indicadores que exceden los valores permisibles por la normativa NC 27/2012.
- ✓ En el Punto 2, muestra de los residuales líquidos provenientes de la zanja de canalización a la salida de la Planta Piloto, los indicadores pH y sulfuros se encuentran por encima de los límites permisibles por la normativa reguladora.
- ✓ El Punto 3, aguas abajo del punto de vertimiento de los efluentes de la Planta Piloto del CEDINIQ al Río Yagrumaje, se puede constatar que el pH, sólidos

sedimentables y los sulfuros, se encuentran por encima de lo normado para su vertimiento a los medios receptores.

A continuación se ilustra la comparación de los indicadores pH, Sulfuro y Sólidos Sedimentables con lo que establece la NC 27:2012, mediante el análisis de gráficos.

En lo referente al indicador pH, Figura 2.11, se evidencia que en los puntos de muestreo 2 y 3 su valor es ligeramente superior al límite máximo que indica la norma.

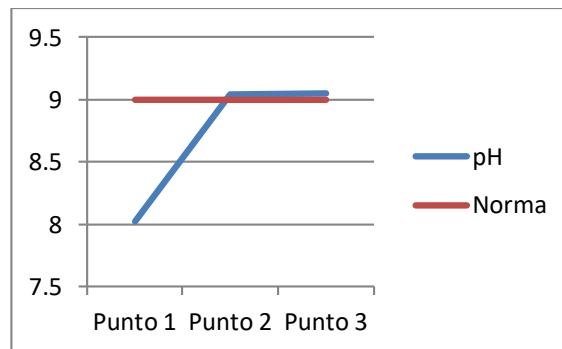


Figura 2.11. Comportamiento del pH en muestras tomadas.

En cuanto al contenido del indicador sólidos sedimentables, Figura 2.12, se puede observar que en los puntos 1 y 3 (228 mg/L y 418 mg/L) es más de 22 veces el valor que establece la norma, 10 mg/L.

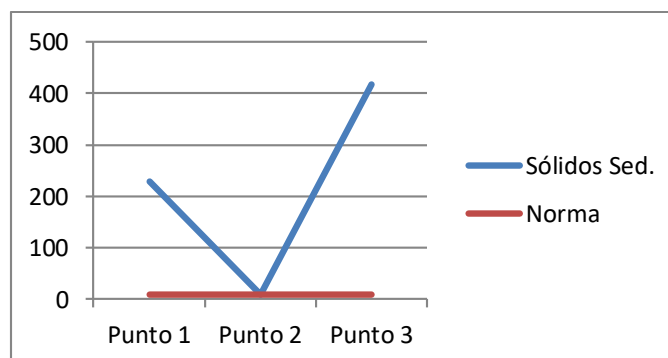


Figura 2.12. Comportamiento de los sólidos sedimentables en muestras tomadas.

En lo que respecta al indicador sulfuros Figura 2.13, en los tres puntos de muestreo los contenidos superan en más de 4.99 veces el valor establecido por la normativa, 5 mg/L para el vertimiento de aguas residuales a aguas terrestres y alcantarillado.

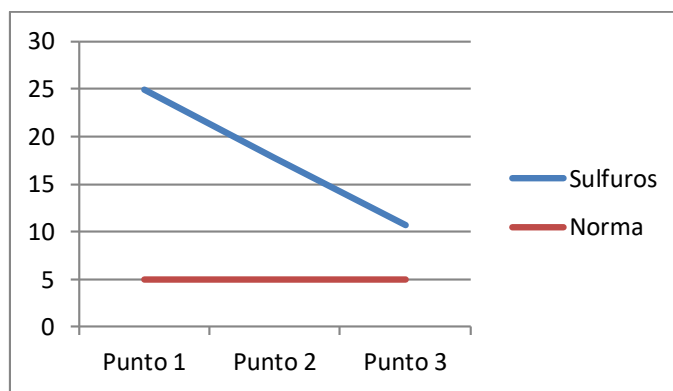


Figura 2.13. Comportamiento de los sulfuros en muestras tomadas.

Del análisis anterior se concluye que en la actualidad existe contaminación ambiental en el medio receptor Río Yagrumaje, causada por las descargas hídricas que realiza la Planta Piloto perteneciente a CEDINIQ sin realizar tratamiento previo alguno, haciéndose necesario transformar estos efluentes en menos inícuos para su vertimiento al medio receptor y contribuir al desarrollo sustentable del país.

2.5.1.- Análisis comparativo de la caracterización de la muestra del Punto 1 con años anteriores

Para mayor veracidad y rigor investigativo, se realizó un análisis comparativo con una muestra estratificada en diferentes períodos de años, para un mismo punto de muestreo, en este caso es el punto 1 que son los efluentes provenientes de la planta piloto en la piscina de recolección.

Las muestras estratificadas es donde la población se divide en segmentos y se selecciona una muestra para cada segmento (Hernández y Fernández, 2014).

Los datos obtenidos para la comparación de la muestra estratificada del punto seleccionado se reflejan en la tabla 2. 4 Anexo 2; los resultados permiten hacer una

comparación por un período de tres años consecutivos, donde se realizaron corridas experimentales en la planta piloto. Los datos se utilizaron en la elaboración de la Figura 2.14, para una mayor observación y comparación de los resultados.

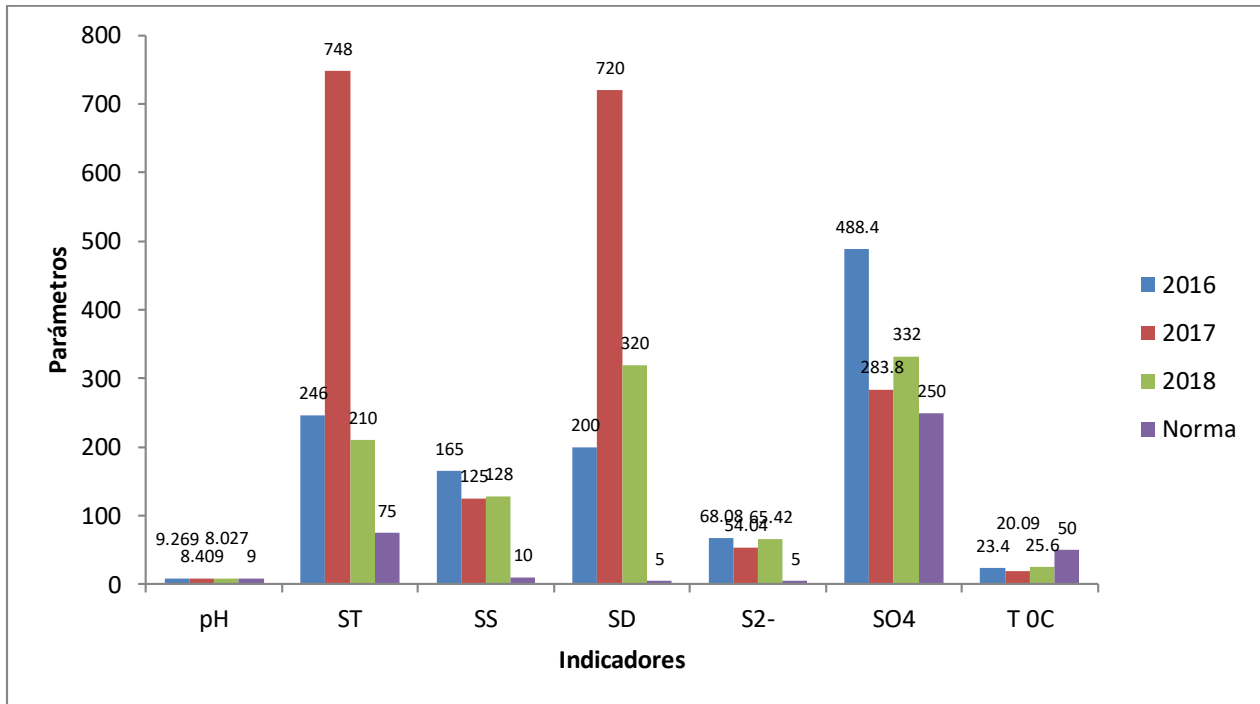


Figura 2.14. Comportamiento de la muestra estratificada.

Como se observa en el gráfico, para los tres años objeto de análisis, los indicadores para la comparación de la muestra estratificada, presentan parámetros que exceden los valores permisibles de la norma que regula el vertimiento de los residuales líquidos a aguas terrestres y alcantarillado. Reafirmandose que existe contaminación ambiental provocada por estos efluentes, por lo que deben ser tratados antes de ser vertidos a su medio receptor.

CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO II

1. Los métodos empleados para el muestreo y para la caracterización físico-química de los efluentes provenientes de la Planta Piloto garantizan confiabilidad de los resultados, comprobándose que existen indicadores como pH, sólidos sedimentables y sulfuros que exceden los parámetros permisibles establecidos por la norma NC 27:2012 ``Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado. Especificaciones.`` que generan contaminación al medio receptor que es el Río Yagrumaje.
2. Los resultados de la caracterización físico-química de las muestras evidencian la necesidad de establecer una propuesta de procedimiento para el tratamiento de estos residuales industriales líquidos antes de ser vertidos a su medio receptor; y de esta forma convertirlos en menos inicuos, minimizando el impacto negativo que causan sobre el medio ambiente, de manera que se logre un desarrollo sustentable.

CAPÍTULO III. PROPUESTA DE PROCEDIMIENTO

En este Capítulo se desarrolla la fase final de la investigación, donde se gestiona la consecución de la sostenibilidad entre la producción y la utilización racional de los recursos naturales por la Planta Piloto del CEDINIQ, así como la minimización de la contaminación que esta genera. Es imprescindible para alcanzar la gestión ambiental organizacional, la utilización de determinadas herramientas como la propuesta de procedimiento para el tratamiento a los residuales líquidos de la Planta Piloto del CEDINIQ, fundamentada en los resultados obtenidos de la caracterización físico-química realizada a las muestras seleccionadas y su comparación con los valores permisibles para el vertido de los efluentes a su medio receptor, de acuerdo a la Norma Cubana NC 27:2012 ``Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado. Especificaciones.’’

3.1- Propuesta de procedimiento

El tratamiento propuesto se basa en las experiencias de autores que han realizado estudios relacionados con el objeto de estudio de la presente tesis, lo cual permitió realizar un análisis para establecer las medidas posibles para disminuir las concentraciones de contaminantes en el efluente que impactan de forma negativa al medio ambiente.

De esta forma se da respuesta a la hipótesis establecida en el estudio de caso, que plantea: si se diseña una propuesta de procedimiento para el tratamiento de los residuales líquidos generados por la Planta Piloto del Centro de Investigaciones del Níquel en Moa, se puede disminuir el impacto ambiental negativo que causan y lograr un desarrollo sustentable.

Se propone un procedimiento con varias alternativas a aplicar para tratar las aguas residuales generadas por el proceso tecnológico de la Planta Piloto del CEDINIQ, que podrá seleccionarse de acuerdo al costo que genera su implementación y presupuesto disponible, para realizar las inversiones necesarias.

La tecnología de tratamiento consiste, en primer lugar, en un tratamiento primario que da lugar al proceso de sedimentación con el uso de la combinación de tratamientos físico-químicos, luego neutralización y posteriormente el tratamiento de los sulfuros presentes en el residual líquido a través de tratamientos químicos. Por último, se realiza nuevamente el control y una vez cumplido lo normado, se vierte el residual industrial líquido al medio receptor; para de esta forma minimizar los contaminantes del efluente y los daños que ocasiona al medio ambiente.

En la Figura 3.1 se muestra el esquema de la propuesta de procedimiento.

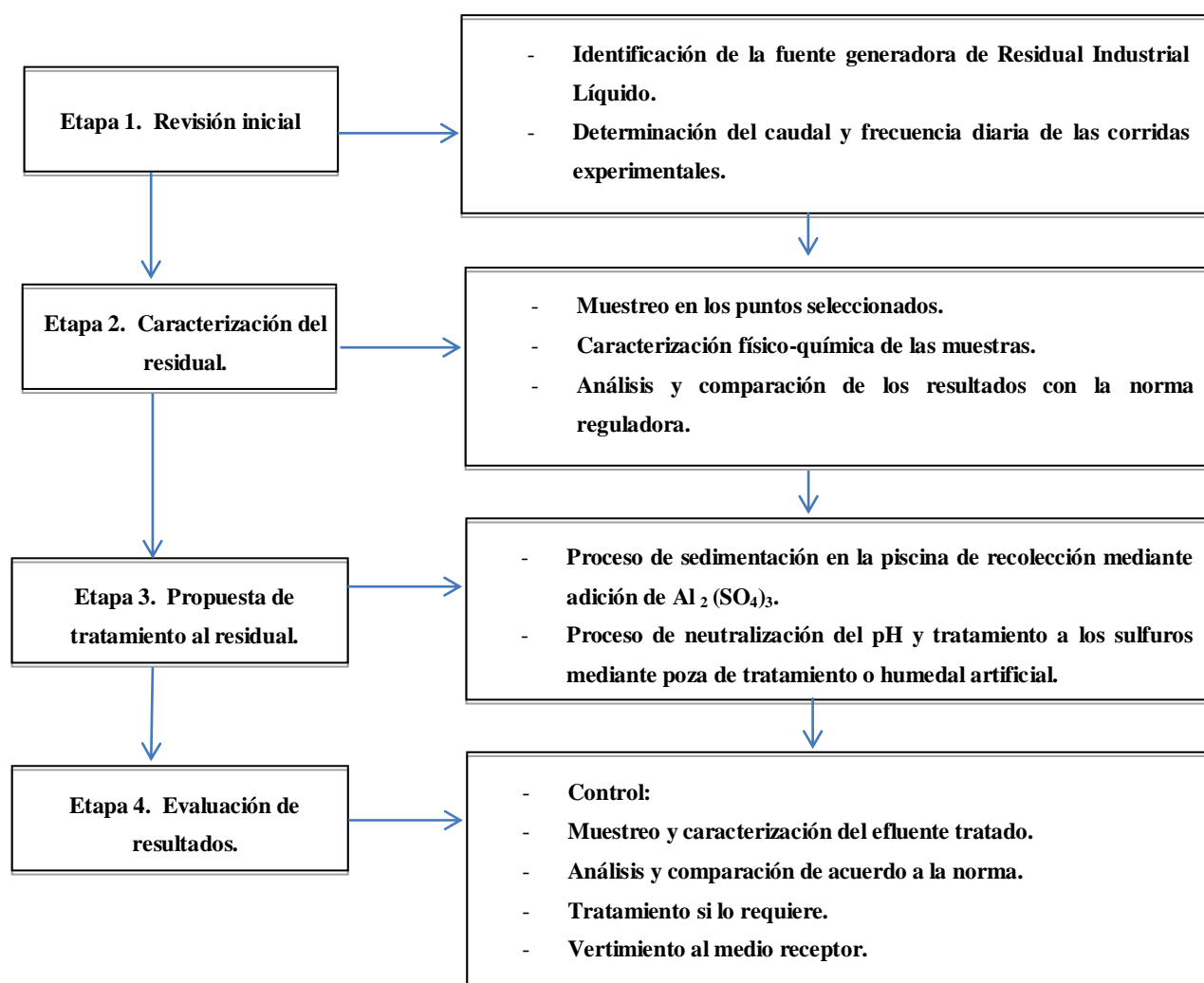


Figura.3.1. Esquema de Propuesta de Procedimiento para Tratamiento de los residuales líquidos de la Planta Piloto de CEDINIQ. Fuente: Elaboración propia.

A continuación se exponen las etapas que conforman la propuesta de procedimiento mostradas en la (Figura 3.1).

Primera etapa: Se identifica la fuente generadora, el caudal y la frecuencia con que se forman diario estos residuales.

Segunda etapa: Realización del muestreo y caracterización físico-química del efluente para su posterior análisis y comparación de los indicadores, de acuerdo a lo establecido en la norma reguladora 27: 2012 ``Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado. Especificaciones`` para ajustar el tratamiento de forma específica.

Tercera etapa: Propuesta de tratamiento a la descarga hídrica de la Planta Piloto, de acuerdo a los indicadores que superan los parámetros establecidos por la norma reguladora.

Cuarta etapa: control del residual obtenido posterior al tratamiento, para su vertimiento al medio receptor.

3.2 Tratamiento a los indicadores que exceden la Norma Cubana 27:2012

Los residuales industriales líquidos de todo el proceso tecnológico de la Planta Piloto y de los sistemas de limpieza de las áreas de Secadero, Molienda y Hornos de reducción, se vierten en la piscina de recolección por un sistema de tuberías. Esta piscina de recolección debería de realizar la función de sedimentador, sin embargo, su capacidad es insuficiente para el caudal de aguas que se vierte diario durante las corridas experimentales, por lo que se sugiere:

Medida 1: Incrementar la altura a la piscina de recolección, aumentando así su capacidad y tiempo de retención.

Medida 2: Realizar una división a la mitad de su longitud para obtener dos secciones, que garantice el paso del líquido por reboso de una sección a otra.

El fondo de la piscina cuenta con una pendiente de 5 % que facilita el deslizamiento de los sedimentos, y en la zona de salida del agua se le realizará una pendiente de un 50% con el fin de evitar que los sedimentos pasen a la otra piscina de salida.

Medida 3: Adicionar al efluente, en la segunda sección, sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$, sustancia que actúa como agente coagulante y floculante, permitiendo la formación de flóculos y con ello alcanzar velocidad de sedimentación de los sólidos suspendidos, además de reducir la turbidez.

Se seleccionó como coagulante el sulfato de aluminio porque es de producción nacional, con bajo costo en el mercado y excelentes resultados en su uso, según el estudio y análisis de varios trabajos referenciados. La dosificación se determinará mediante el Programa predictor de dosis óptima de coagulante, el cual está compuesto por diferentes algoritmos basados en la lógica de la Red Neuronal, donde al ingresar en él valores de turbidez, color y alcalinidad, entre otros; medidos previamente, arroja como resultado un valor de dosificación de agente coagulante (López, Nociari y Barrionuevo, 2004).

Medida 4: En el fondo de las dos secciones se conectará un sistema de tuberías acopladas a una bomba centrífuga que se encargará de la extracción de lodos sedimentados, que los enviará directamente al sistema de tuberías y bombeo de colas de la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara hasta la presa de colas correspondiente. Mientras que el líquido por reboso pasará al registro que lo canaliza a la zanja de vertimiento.

De esta manera son tratados los sólidos sedimentables que se encontraban fuera de los parámetros establecidos en el punto 1 del muestreo. El esquema de la propuesta para el tratamiento de los sólidos sedimentables se muestra en la Figura 3.2.

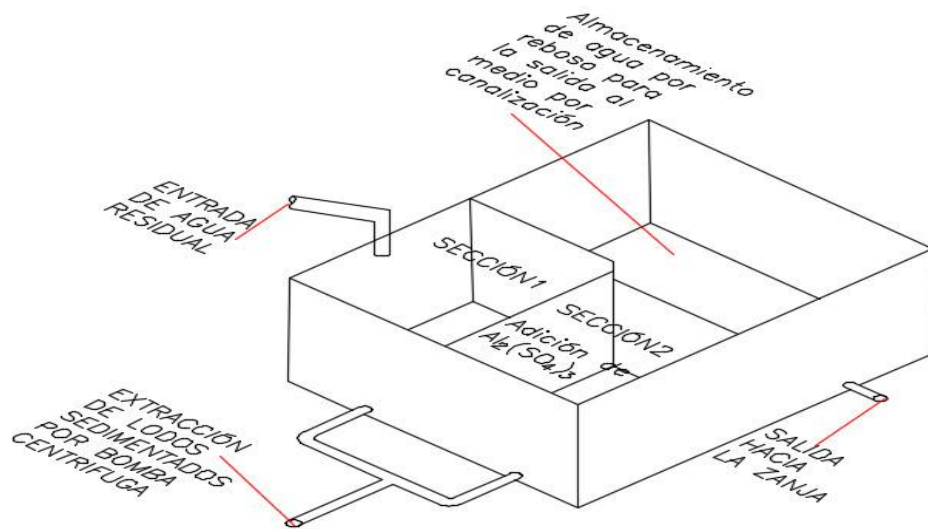


Figura 3.2 Propuesta de tratamiento a los sólidos sedimentables.

Los residuales del punto 2 de muestreo, perteneciente a la zanja de salida de la Planta Piloto que en ella se vierten las aguas de sistema de limpieza de las áreas de trabajo, el vertimiento de los análisis extractables (QT) y los salideros de los tanques de almacenamiento; se unen a la zanja de salida de la piscina de recolección, en un registro que los conduce hasta un sedimentador de pequeño tamaño y posteriormente salen hacia su medio receptor.

Este sedimentador no realiza función alguna, debido a que el caudal de agua que se genera es de mayor volumen que la capacidad que él posee, por lo que en su lugar se proponen otras variantes para poder tratar estos efluentes en cuanto a pH y sulfuros, previo a su salida hacia el Río Yagrumaje.

Para esta etapa de tratamiento se tienen dos propuestas, con el fin que la dirección técnica del CEDINIQ valore cuál de las dos sería más factible para su implementación de acuerdo al costo de la inversión.

Medida 5: Primeramente se propone construir un sistema de almacenamiento con una capacidad de 50 000 m³ donde se tratarían de conjunto los sulfuros que exceden los límites permisibles en el punto 1 y punto 2, así como el pH elevado del punto 2.

El tratamiento consiste en la oxidación química que transformaría los sulfuros a sulfatos y azufre; y de esta forma se eliminaría el contaminante. Como oxidantes se han escogido dos opciones:

- ✓ Permanganato de potasio.
- ✓ Peróxido de hidrógeno.

En ambos casos el medio debe de ser ligeramente alcalino, para no limitar el poder oxidante. Estos oxidantes no generan subproductos tóxicos medioambientales como otros oxidantes que pueden ser utilizados, siendo estos sustentables y nobles en su implementación.

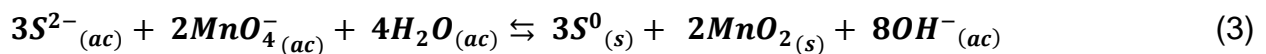
Medida 5.1: Con la adición del permanganato de potasio, a medida que transcurre la oxidación aumenta su pH por lo que se debe chequear y en caso necesario, adicionar ácido clorhídrico al 5% para mantenerlo en valores recomendables de 8,5; no se debe añadir mayores concentraciones de ácido para no generar desprendimiento de gases. En caso de que el pH disminuya demasiado se adiciona hidróxido de sodio hasta lograr el valor recomendable (Coira, 2003).

Los productos sólidos de la reacción, son el azufre y el óxido de manganeso (IV), facilitando la presencia de este último la coagulación del sólido generado, aunque se dificulta la posibilidad de recuperación del azufre. Finalmente se flocula la suspensión añadiendo un polímero aniónico que permite la completa eliminación de los sulfuros del medio de reacción.

Las reacciones, escritas en forma iónica, que tienen lugar durante el proceso de oxidación con KMnO_4 se muestran en las ecuaciones 1, 2 y 3:



La ecuación de reacción total se representa por:



Para lograr la reacción deseada, estequímicamente por cada Kg de S^{2-} se adiciona 3,30 Kg de permanganato de potasio al 6% en disolución; luego de agregar el floculante se obtiene un líquido inodoro e incoloro y una fase sólida precipitada libre de sulfuros. (Coira, 2003)

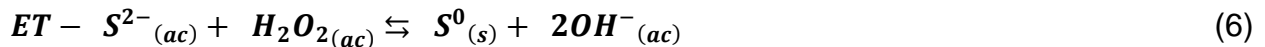
Medida 5.2: La oxidación química mediante el peróxido de hidrógeno, también se realiza en medio alcalino, es un oxidante mucho más energético que el permanganato, y su mayor ventaja es que no aporta subproductos sólidos al residuo tratado; es posible si se desea recuperar el azufre a partir de los sulfuros, que minimiza los residuos sólidos del tratamiento.

De similar forma se debe controlar el pH del agua residual a tratar en valores de 8,3 a 8,5, y en caso necesario se neutraliza con adición de ácido clorhídrico. Cuando se aplica peróxido de hidrógeno al 30% se produce una reacción exotérmica, por lo que incrementa la temperatura en dependencia de la velocidad de adición del oxidante, requiriendo atención en el momento de esta acción. Al producirse la reacción se eliminan totalmente los sulfuros, dejando un precipitado blanco/amarillento de azufre, fácil de filtrar tras un tratamiento de floculación. Se recupera el azufre contando con una generación de sólidos menor que la de cualquier otro oxidante que se utilice.

En estas condiciones, las reacciones serán:



La reacción total:



Medida 6: Se procede al control nuevamente del efluente, para su vertimiento al medio receptor; una vez establecidos los indicadores se abre una válvula de salida del sistema de almacenamiento hacia el Río Yagrumaje.

Medida 7: Como segunda alternativa, en vez de construir un sistema de almacenamiento se recurriría a los métodos Biológicos de los Pasivos Humedales, que constituye de manera mundial, una nueva forma tecnológica de tratamiento sofisticados de aguas residuales de bajo costo y sencillos requerimientos de operación y mantenimiento. Dichos procesos requieren mayores extensiones de terreno en comparación con los de tipo intensivo, pero el consumo energético suele ser mínimo, requiriendo personal menos especializado. El funcionamiento de los humedales artificiales se fundamenta en tres principios básicos: la actividad bioquímica de microorganismos, el aporte de oxígeno a través de los vegetales durante el día y el apoyo físico de un lecho inerte que sirve como soporte para el enraizamiento de los vegetales, además de servir como material filtrante (Delgadillo y Camacho, 2010).

Los humedales construidos hasta la fecha a nivel mundial se han utilizado para tratar una amplia gama de aguas residuales como:

- ✓ Aguas domésticas y urbanas.

- ✓ Aguas industriales, incluyendo fabricación de papel, productos químicos y farmacéuticos, cosméticos, alimentación, refinerías y mataderos, entre otros.
- ✓ Aguas de drenaje de extracciones mineras.
- ✓ Aguas de escorrentía superficial agrícola y urbana.
- ✓ Tratamiento de fangos de depuradoras convencionales,

Medida 7.1: En este caso, se propone construir un humedal subsuperficial de flujo horizontal, como se muestra en la Figura 3.3.

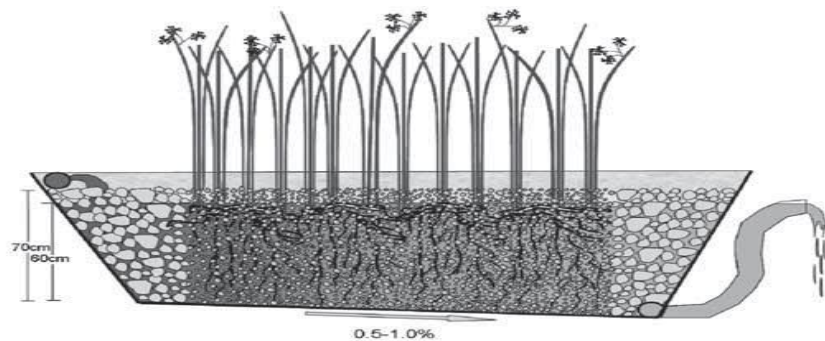


Figura 3.3. Humedal subsuperficial de flujo horizontal. Vista de corte.
Fuente: (Delgadillo y Camacho, 2010).

Estos son los más usados en países Europeos, el diseño de estos sistemas por lo general consiste en una cama, ya sea de tierra o arena y grava, plantada con macrófitas acuáticas, que en esta propuesta se tiene como objetiva la planta *Phragmites ssp Anuales* conocida comúnmente como caña común o carrizo, la cual se muestra en la Figura. 3.4.



Figura 3.4. Planta *Phragmites ssp Anuales* conocida como caña común o carrizo.
Fuente: (Delgadillo y Camacho, 2010).

Toda la cama es recubierta por una membrana impermeable para evitar filtraciones en el suelo, el agua ingresa en forma permanente. Es aplicada en la parte superior de un extremo y recogida por un tubo de drenaje en la parte opuesta inferior. El agua residual se trata a medida que fluye lateralmente a través de un medio poroso (flujo pistón). La profundidad del lecho varía entre 0,45 m a 1 m y tiene una pendiente de entre 0,5 % a 1 %.

El agua residual no ingresa directamente al medio granular principal (cuerpo), sino que existe una zona de amortiguación generalmente formada por grava de mayor tamaño. El sistema de recogida consiste en un tubo de drenaje cribado, rodeado con grava de igual tamaño que la utilizada al inicio. El diámetro de la grava de ingreso y salida oscila entre 50 mm a 100 mm. La zona de plantación está constituida por grava fina de un solo diámetro, entre 3 mm y 32 mm.

Es fundamental que el agua residual que ingresa al sistema se mantenga en un nivel inferior a la superficie (5-10 cm), lo cual se logra regulando el nivel del dispositivo de salida en función a este requerimiento. La principal característica del medio es que debe tener la permeabilidad suficiente para permitir el paso del agua a través de él. Esto obliga a utilizar suelos de tipo granular, principalmente grava seleccionada con un diámetro de 5 mm aproximadamente y con pocos finos.

De esta forma el agua residual pasa por un sistema de tratamientos en el humedal construido, que permite filtrar/sedimentar los remanentes presentes, biodegradar de forma aeróbica y anaeróbica las materias orgánicas, remoción de nitrógeno, fósforos, metales pesados y el control de pH y sulfuros presentes, para obtener un efluente menos contaminante al medio ambiente y por ende al medio receptor al que es vertido como destino final.

La implementación de cualquiera de las alternativas planteadas en la propuesta de procedimiento para el tratamiento de los residuales líquidos de la Planta Piloto del CEDINIQ, garantiza la disminución de los contaminantes presentes en el mismo,

disminuyendo su impacto ambiental negativo que ocasiona el vertimiento de las aguas residuales al Río Yagrumaje producto de sus funciones.

Para el centro es favorable desarrollar estas actividades, debido a que serviría de ejemplo a otras empresas del Municipio, la Provincia y el país, logrando una mejor imagen comercial y como entidad de ciencia, desarrollo e innovación

3.3- Análisis del impacto ambiental de los contaminantes

La contaminación del agua es uno de los aspectos más preocupantes de la degradación de los medios naturales por parte de la industria minero metalúrgica, factor decisivo que actúa sobre el medio ambiente por la generación de diversos residuos que traen consecuencias adversas y deben contemplarse para minimizar su efecto negativo, entre las más notorias se encuentran las emisiones a la atmósfera, los vertidos a mares y ríos, entre otros.

El vertimiento de los residuales industriales líquidos generados por la Planta Piloto del CEDINIQ al Río Yagrumaje por más de treinta años sin tratamiento previo, constituye una fuente permanente de contaminación a las aguas subterráneas y superficiales, ocasionado grandes impactos ambientales que se resumen a continuación:

- ✓ Modificación de la dinámica de las aguas subterráneas y superficiales.
- ✓ Altos niveles de demanda bioquímica de oxígeno en las aguas naturales, como consecuencia de las descargas de residuales ricos en materia orgánica que llevan al decrecimiento del oxígeno disuelto, causando la muerte de la biota acuática.
- ✓ El pH en niveles que no sean neutros afecta el balance químico y ecológico de los cuerpos receptores y es un factor limitante para el uso del agua.
- ✓ Los sólidos sedimentables limitan la penetración de la luz, dañan el hábitat de los organismos que viven en los fondos acuáticos al generar condiciones anaeróbicas en el fondo de los medios receptores.

- ✓ Los altos niveles de sólidos sedimentables en los medios receptores modifican las características de los suelos.
- ✓ Los sulfuros presentes en agua provocan lluvias ácidas, que conducen a otros problemas ambientales.
- ✓ El sulfuro puede convertirse en medios ácidos en sulfuro de hidrógeno, un gas altamente tóxico que en breves exposiciones a concentraciones medias origina náuseas y conjuntivitis y en concentraciones superiores ocasiona pérdida de conciencia, parálisis respiratoria y muerte.
- ✓ Contaminación del agua del mar.
- ✓ Disminución de especies florísticas, así como de riqueza de especies faunísticas por la desaparición de la flora.
- ✓ Aumento de las tasas de emigración desde las zonas contaminadas hacia las áreas aledañas, lo cual provoca un aumento de la competencia dentro de las mismas y alteración en el balance de los depredadores.
- ✓ Alteración visual y paisajística.
- ✓ Efectos sobre la población de pescadores, debido a la disminución de la biodiversidad del ecosistema.
- ✓ Altos contenidos de elementos metálicos que entran en la cadena alimenticia, donde el hombre es el mayor consumidor.

Con el resultado obtenido del análisis físico-químico del residual industrial líquido de la Planta Piloto del CEDINIQ, se propone a través de un procedimiento una serie de medidas y alternativas que se encuentran encaminadas a dar solución o minimizar estos impactos negativos antes mencionados.

CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO III

1. La propuesta de procedimiento para el tratamiento a los residuales industriales líquidos de la Planta Piloto del CEDINIQ, se sustenta en los resultados obtenidos de la caracterización físico-química realizada a las muestras seleccionadas y en la necesidad de disminuir las concentraciones de los contaminantes en el efluente, que afectan el medio receptor; a través de cuatro etapas. El tratamiento a los indicadores que exceden la NC 27:2012 conforman la tercera etapa y para el caso particular de los sulfuros se proponen dos alternativas a considerarse de acuerdo al costo-beneficio que pueden generar:
 - ✓ Oxidación química con permanganato de potasio o peróxido de hidrógeno.
 - ✓ Tratamiento por método biológico, construcción de un humedal artificial.
2. Las acciones propuestas en el procedimiento están basadas en la experiencia, a nivel mundial y en Cuba del tratamiento de residuales industriales líquidos y los excelentes resultados obtenidos. Con la implementación se logrará en la Planta Piloto del CEDINIQ la sostenibilidad entre la producción y la utilización racional de los recursos naturales.

CONCLUSIONES

1. El CEDINIQ no cuenta con procedimientos para el tratamiento de los residuales industriales líquidos que son vertidos al Río Yagrumaje y que contaminan el ecosistema de la región.
2. La propuesta de procedimiento para el tratamiento a los residuales líquidos generados por la Planta Piloto del CEDINIQ, está fundamentada en los resultados de la caracterización físico-químico realizada a las muestras seleccionadas en los puntos de muestreo y tiene como propósito tratar los indicadores sulfuros, sólidos sedimentables y pH, cuyos valores exceden los permisibles según la norma NC 27:2012.
3. El procedimiento propuesto consta de cuatro etapas; en su etapa tercera se establecen las medidas a aplicar a los indicadores que exceden lo regulado en la Norma Cubana 27:2012, para el caso particular del indicador sulfuro se proponen dos alternativas a utilizar, de acuerdo al costo-beneficio que genere su implementación.
4. Con el tratamiento a los indicadores que exceden los parámetros establecidos por la normativa reguladora, se contribuye a minimizar los impactos ambientales negativos que causan a los medios receptores, al equilibrio en la relación hombre/naturaleza/sociedad y al logro de un desarrollo sustentable.

RECOMENDACIONES

Se recomienda al Centro de Investigaciones del Níquel “Capitán Alberto Fernández Montes de Oca” que:

- ✓ Implemente esta propuesta de procedimiento luego de su análisis y valoración por el ente involucrado, para minimizar el impacto ambiental negativo que causan los efluentes provenientes de la Planta Piloto al medio receptor, que es el Río Yagrumaje. Además de permitirle alcanzar una mejor imagen como entidad de ciencia, desarrollo e innovación y una posición ambiental favorable.
- ✓ Constituya material de apoyo a otras investigaciones con características similares.
- ✓ Realice una evaluación a la implementación de la propuesta de procedimiento para el tratamiento de los residuales industriales líquidos de la Planta Piloto del CEDINIQ, mediante estudios posteriores.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Águila, L. A. (2003).** El tratamiento de los residuos industriales mediante técnicas de oxidación, reducción y precipitación química. *Residuos: Revista técnica*, Vol. 13 Nro. 73, pp. 84-91.
- Aguirre, J. (1993 (a)).** Caracterización de las colas y el efluente de la planta de calcinación y cinter. *Primer Taller internacional de protección y aprovechamiento racional de los recursos naturales. Moa. Cuba. Libro de Resumen. Nro. 47.*, p. 35.
- Aguirre, J. (1993 (b)).** Tratamiento mecánico y químico del residual (C2) efluente de los filtros de cartucho en la empresa Comandante Che Guevara. *Primer Taller Internacional de protección y aprovechamiento racional de los recursos naturales. Moa. Cuba. Libro de Resumen. Nro. 47.*, p. 41.
- Alfonso, E., Bobes, L., Astorga, J., Moner, M. A., Camporredondo, C., & Acebal, A. (1998).** Caracterización de los efluentes de las empresas niquelíferas cubanas. In *Congreso Cubano de Geología y Minería. Libro de Resúmenes. Vol. 98*, pp. 10-11).
- Alvariño, C. R., & Arrechea, A. P. (2006).** Metodología empleada en el diseño de tecnologías de tratamiento de las aguas residuales de la producción de diversos medicamentos. *Revista CENIC. Ciencias Biológicas*, Vol. 37 Nro. 2, pp. 93-100.
- Andrade, S., & Alejandrinas, E. (2015).** *Diseño y Construcción de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de una Recicladora de Tanques. Tesis de Master.* Universidad de Guayaquil, Facultad de Ingeniería Química.
- Angulo, P. H. (2016).** *Análisis del impacto de los principales problemas medio ambientales presentes en la Planta Piloto del CEDINIQ.* Moa: Infome Interno CEDINIQ.
- Arango, A. M. (2012).** Problemática de los pasivos ambientales mineros en Colombia. *Revista Gestión y Ambiente.*, Vol. 15 Nro. 3, pp. 125-133.

- Arias, L. T., Giralt, O. G., Guerrero, H. J. R., Hernández, A. J., & Espinosa, P. A. (2018).** Propuesta de tratamiento para residuales de la fábrica de marmolosa en Santiago de Cuba. *Revista Tecnología Química*, Vol. 38 Nro. 3, pp. 588-597.
- Ariza, B. S. (2016).** *Estrategia Empresarial del CEDINIQ 2016-2020*. Moa: Informe Interno CEDINIQ.
- Asamblea Nacional del Poder Popular. (1997).** *Ley 81 de Medio Ambiente*. La Habana, Cuba: Gaceta Oficial *Extraordinaria* Nro. 95.
- Asamblea, N. d. (2017).** *Ley Nro. 124. De las aguas Terrestres*. La Habana, Cuba: Gaceta Oficial *Extraordinaria* Nro. 51.
- Asamblea, N. d. (2019).** *Constitución de la República de Cuba*. La Habana, Cuba: Gaceta Oficial.
- Astorga, G. J., Moner, M. A., & Aceval, M. (1991).** Caracterización de los efluentes líquidos de la empresa niquelífera "Comandante René Ramos Latour". *Revista Minería y Geología*, Vol. 8 Nro.1-3, pp. 87-93.
- Benabides, L. (2007).** *Guía para la definición y clasificación de residuos peligrosos. Organización Panamericana de la salud*. Recuperado el 20 de Junio de 2018, de Guía para la definición y clasificación de residuos peligrosos. Organización Panamericana de la salud.: <http://www.cepis.opsoms.org/cdromrepi86/fulltexts/html>.
- Betancourt, M. J., Moreno, J. A., & Buitrón, G. (2004).** Event-driven control for treating toxicants in aerobic sequencing batch bioreactors. *Revista: IFAC Proceedings*. Vol. 37 Nro. 3., pp. 457-462.
- Bovonde, d. C. (2019).** *Perfeccionamiento del esquema tecnológico de la Planta de Tratamiento de agua residual del Centro Industrial de Viana*. Moa, Holguin: Tesis de pregrado. Universidad de Moa.
- Británica, E. d. (1993).** *Reporte del Estado del Ambiente de la Columbia Británica*. Vancouver.

- Brundtland, I. H. (1987).** *Informe de la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo ``Nuestro Futuro Común``. Doc. A/42/427.* Nairobi: Naciones Unidas.
- Canchingre, B, M. E., Mosquera, Q, G., Morales, P, M., & Galán, R, V. (2016).** La gestión de los residuos líquidos empresariales de la refinería estatal esmeraldas, república del ecuador. *Revista Ciencia en su PC*, Vol. 3, pp. 42-56.
- Cardona, Q. P. (2016).** *Manual de procedimiento para la operación de la Planta de Tratamiento de aguas residuales de la empresa PANGLO SERVICES de Colombia S.A.S.* Colombia: Informe de Investigación Formativo.
- Chile, C. N. (2016).** *BCN Informe sobre Pasivos Ambientales Mineros en Chile.* Santiago de Chile: Biblioteca del Congreso Nacional de Chile.
- CITMA, M. d. (2009).** *Programa Nacional de la Lucha contra la administración del Medio Ambiente para el período 2009-2015.* La Habana, Cuba: Gaceta oficial de la Republica de Cuba. Nro 1.
- Coira, M. V. R., Águila, L. A., & Miguel, R. V. (2003).** El tratamiento de aguas industriales contaminadas con sulfuros. *Residuos: Revista técnica*, Vol.13 Nro. 74, pp. 64-71.
- Comisión, E. (s.f.).** *Oficio Nro 5/10 de fecha 14 de diciembre de 2010 de la Comisión Especial Investigadora sobre la situación en que se encuentran los depósitos de relaves mineros existentes en el país.* Recuperado el 17 de Enero de 2018, de <http://ciparchile.cl/wp-content/uploads/Documento-2.pdf>
- Cueto, R. M. (2003).** *Descontaminación del licor residual WL de la fábrica Pedro Sotto Alba con colas de mineral y otros reactivos.* Moa: Informe Interno de la Pedro Sotto Alba.
- De Cuba, P. (2011).** *Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución. (Lineamientos 1,24, 98, 99, 101, 102, 179).*La Habana: Materiales del Sexto Congreso del PCC.
- De Rosa, C. &. (1997).** *Sueños Dorados, Sueños envenenados.* Washintong, D.C: Centro de Política Minera.

- Delgadillo, E. (2008).** *Metodología para el análisis de riesgos ambientales. Impacto social en la población del Municipio de Ecatepec, Estado de Mexico.* Estado de Mexico: itzamna.
- Delgadillo, O. &. (2010).** *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales.* Bolivia: Serie Técnica: Nelson Antequera Durán. pp. 05-09.
- Díaz, B. R. (1987).** *Tratamiento de aguas y aguas residuales.* La Habana: Documento Instructivo de ISPJAE.
- Do Amaral, F. G. (1989).** *Residuos Sólidos Industriales. Evaluación de la generación y manejo en Lima-Perú.* Lima. Perú. Informe del CEPIS.
- Doménech, X. (1993).** *Química Ambiental. El impacto ambiental de los residuos.* Barcelona. España.: Miraguano.4ta Edición.
- Española, R. A. (s.f.).** *Real Academia Española.* Recuperado el 31 de Julio de 2019, de Real Academia Española: <https://www.rae.es/recursos/diccionarios>
- Espigares, M. &. (2010).** *Características de las aguas residuales.* Madrid: Barcelona.
- Falcón, J. &. (2011).** *Estudios de Procesamiento de Residuales de la Industria Cubana del Níquel.* Santiago de Cuba: Tesis de pregrado. Universidad de Oriente.
- Fernández, M. (2012).** *Hidrogeología aplicada con aspectos ambientales.* Moa: Digital Universidad de Moa.
- Ganesh, P. A. (2014).** *Metodología para el inventario de los Pasivos Ambientales Mineros Metalurgicos, generados por la Industria del Níquel en Moa.* Tesis de pregrado.Holguín: Instituto Superior Minero Metalurgico de Moa.
- González, J. C. A., & del Campo, E. A. (2008).** *Minería, medio ambiente y gestión del territorio.* Red DESIR-UPM-Programa ALFA.. p.95.
- González, R. A. (2008).** *Diseño de Metodología para la identificación de Pasivos Ambientales Mineros en Colombia.* Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- Granda, I, O., & Astorga, G, J. (1992).** Aprovechamiento de la serpentina niquelífera en la neutralización de los licores de desecho de la empresa Comandante Pedro Sotto Alba. *Revista Minería y Geología*, 9 Nro.1, pp. 35-38.

- Granda, I. O., & Astorga, G. J. (1993).** Aprovechamiento de la serpentina níquelífera en la neutralización de los licores de desecho de la empresa Comandante Pedro Sotto Alba. Segunda Parte. *Revista Minería & Geología*. Vol. 10 Nro. 2., pp. 25-27.
- Grupo Empresarial GEOCUBA, D. d. (2014).** *Diagnóstico Ambiental al Centro de Investigaciones del Níquel en Moa*. Las Tunas: Informe Técnico Interno CEDINIQ.
- Hernández, I. Á., Díaz, A. H., Alberteris, E. P., Valdés, B. F. G., Hidalgo, L. M. R., Vázquez, J. E., & Roche, Y. M. G. (2005).** Propuesta de programa para mejorar la seguridad y minimizar el vertimiento de residuos en laboratorios químicos de la UCLV. *Revista Cubana de Química*, Vol. 17 Nro. 3, pp.108-116.
- Hernández, M. A. (1998).** *Depuración de Aguas Residuales*. Madrid: Barcelona.
- Hernández, R. Fernández, C., & Baptista, M. (2014).** *Metodología de la Investigación. Sexta Edición*. Mexico: McGraw-Hill/Interamericana editores.
- Hernández, R., & Fernández, C. C. (2014).** *Metodología de la Investigación, Quinta Edición*. Mexico: McGrawHill.
- Infante, C. (2011).** *Pasivos Ambientales Mineros, Barriendo bajo la alfombra. Observatorio de conflictos mineros de America Latina*. p. 95
- Junco, J. Z., & González, J. C. (2007).** Metodología para el Monitoreo y Control de la Contaminación. *Curso de Maestría de Contaminación Ambiental*. Junio, 18.
- Labadié, J. M. (1986).** *Tratamiento de residuales del combinado Pedro Sotto Alba. Informe de investigación de la Empresa Comandante Pedro Sotto Alba*. Moa: Informe Interno de la Pedro Sotto Alba.
- Labadié, J. S. (1993).** Consideraciones sobre la tecnología de tratamiento del licor WL utilizando sedimentos coralino y cal. *Primer Taller Internacional de protección y aprovechamiento racional de los recursos naturales. Moa. Cuba. Libro de Resumen*. Nro. 47, p. 36.

- Laucerica, J. L. (2013).** *Residuales líquidos generados en laboratorios docentes de química. alternativas para su tratamiento.* Cardenas: Tesis de pregrado. Universidad de Matanzas.
- López, S, L. M., López, S, M. L., & Medina, S, G. (2017).** La prevención y mitigación de los riesgos de los pasivos ambientales mineros (PAM) en Colombia: una propuesta metodológica. *Revista Entramado*, Vol.13 Nro. 1, pp. 78-91.
- López, W., Nociari, G., & Barrionuevo, A. (2004).** Programa predictor de dosis óptima de coagulante: planta San Martín, planta Manuel Belgrano. In *Congreso Argentino de Saneamiento y Medio Ambiente, 14* (pp. 1-4). AIDIS Argentina.
- Lyon, J. (s.f.).** Centro de Política Minera.
- Mardones, J. M. (1991).** *Filosofía de las ciencias humanas y sociales: materiales para una fundamentación científica* (Vol. 1). Anthropos Editorial.
- Menéndez, C., & Pérez, J. (2007).** Procesos para el tratamiento biológico de aguas residuales industriales. *Editorial Félix Varela-Editorial Universitaria, La Habana, Cuba.* pp. 02-06.
- Metcalf, & E. (1995).** *Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización.* Madrid: Madrid: 3ra ed. Mc Graw. Hill Interamerica de España. S.A.U.
- Montero, P. J. (2006).** *El desarrollo compensado como alternativa a la sustentabilidad en la minería(aprehensión ético-cultural).* La Habana: Tesis Doctoral.
- Navarro, F. M. (2007).** *Tratamiento de aguas residuales industriales mediante electrocoagulación y coagulación convencional.* España: Tesis Doctoral. Universidad de Castilla-La Mancha.
- Norma, C. N. (2007).** *Norma Cubana 521: 2007. Vertimiento de aguas residuales a la zona costera y aguas marinas. - Especificaciones.* La Habana, La Habana, Cuba: Oficina Nacional de Normalización.

- Norma, C. N. (2012).** *Norma Cubana 27/2012. Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado. - Especificaciones.* La Habana, La Habana, Cuba: Oficina Nacional de Normalización.
- Norma, I. S. (2015).** *Norma Internacional ISO 14001/2015. Sistema de Gestión Ambiental.* Ginebra, Ginebra, Suiza: ISO.
- Norma, I. S. (2015).** *Norma Internacional ISO 9001:2015. Sistema de gestión de la calidad.* Ginebra, Zuisa: ISO.
- Odum, P. E. (1986).** *Ecología.* Ciudad de la Habana: Revolucionaria.
- Pérez, R. Á., & Yuzhaninov, I. (1992).** Emisiones gaseosas de la fábrica Comandante Pedro Sotto Alba y su influencia negativa sobre el medio (Tercera parte). *Revista Minería y Geología*, 9(1), 39-43.
- Ponjuan, A., & Rodríguez, R. (1981).** Los procesos metalúrgicos utilizados en la industria del níquel en Cuba. La Habana: Editorial Pueblo y Educación.
- Puga, B. J. (2012).** *Tratamiento de aguas residuales en la industria minero metalurgica.* Lima-Perú: Tesis de Maestría con mención en tratamiento de aguas y re-uso de residuos UNI.
- Ramalho, R. S. (1996).** *Tratamiento de aguas residuales.* Reverté.
- Ramos, A. C. (2013).** Comportamiento de los indicadores sanitarios y ecotoxicológicos de las aguas residuales con trazas de medicamentos. *Revista Cubana de Química. Nro. 25 Vol. 2.,* pp.180-205.
- Ramos, C., Pellón, A., Villafranca, D., del Carmen Espinosa, M., Escobedo, R., & Alvarez, Y. (2005).** Tecnología de Tratamiento a las aguas residuales de una labor farmaceutica de producción de semisólidos. *Revista CENIC. Ciencias Biologicas. Vol. 36, Nro. Especial.,* pp. 14-18.
- Rivas, M. G. (1978).** *Tratamiento e aguas residuales. 2da Edición.* Caracas: Ediciones Vega. pp. 13-14.
- Rivas, R. S. (2017).** *Proyecto 600199. Tratamiento a agua residual de la Empresa Ernesto Che Guevara.* Moa, Holguin.: Informe Interno CEDINIQ.

- Rodríguez, A., Letón, P., Rosal, R., Dorado, M., Villar, S., & Sanz, J. M. (2006).** *Informe de Vigilancia Tecnológica. Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales.* Madrid: Universidad de Alcalá del Circulo de (CITME).Innovación en Tecnologías Medioambientales y Energía.
- Rodríguez, R., & García-Cortés, Á. (2006).** *Los residuos minero-metalúrgicos en el medio ambiente.* Instituto Geológico y Minero de España. Serie Medio Ambiente Nro 11.
- Rodríguez, R., & Isaac, C. (2012).** *Manual de Gestión Ambiental Organizacional. Ediciones del Consejo Directivo, Colección Biblioteca Universitaria, Barquisimeto.*
- Rodríguez, R. (1997).** *Características de un residuo metalurgico utilizando tecnicas analíticas y experimentales en el laboratorio. Libro de resumen.* Moa: Forum de Recerca y Desenvolupament. Manresa.
- Rodríguez, R. (2002).** *Estudio experimental de flujo y transporte de cromo, níquel y manganeso en residuos de la zona minera de Moa. Influencia del comportamiento hidromecánico. Departamento de ingeniería del terreno y cartografía.* España: Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña.
- Rolim, M. S. (2000).** *Sistema de lagunas de oxidación.* Santa Fe. Bogotá.: Mc Graw Hill Interamericana S.A. p. 370.
- Romero, A. A., Flores, S. L., & Arévalo, W. (2010).** *Tratamiento de efluentes de la industria minera con dolomita. Revista Industrial data, Vol. 13 Nro. 1, pp. 85-90.*
- Sánchez, L. E. (2012).** *Procedimiento para el manejo de residuales líquidos industriales. Aplicación de Gydema, Cienfuegos. Tecnología Química. Vol. 32, Nro. 2., pp.137-147.*
- Sanchez, U. &. (1994).** *Contaminación Industrial en Colombia.* Colombia: 1ed. Colombia. Tercer Mundo. Editores.

Santander, M., Paiva, M., Silva, R., & Rubio, J. (2011). Tratamiento de riles del sector minero-metalúrgico y reutilización de las aguas. *Departamento de Metalurgia, CRIDESAT, Universidad de Atacama, Chile.*

Seoáñez, M. (1999). Aguas residuales: tratamiento por humedales artificiales. Fundamentos científicos. *Tecnologías. Diseño. Colección Ingeniería del Medio Ambiente. Ed. Mundi-Prensa. Madrid.*

Serrano, J. H. (2006). Protección Ambiental y Producción más Limpia. *Tabloide: Universidad para todos. Habana: Academia., p.16.*

Slideshare. Recuperado el 31 de julio de 2019, Revista Digital. Capítulo I, Caracterización de aguas residuales. [https://es.slideshare.net/Casskiss/caracterización-de-aguas-residuales.](https://es.slideshare.net/Casskiss/caracterización-de-aguas-residuales)

Taylor, S. &. (1984). *Introducción a los métodos cualitativos de la investigación.* Nueva York.: Mc Graw-Hill.

Unión de Empresas del Níquel, UNI. (1994). *Informe acerca de los principales focos de contaminación del medio ambiente como resultado del impacto de la industria del níquel. Política aplicada en la solución de estos problemas.* Moa: Documento Interno.

Varela, C. (2008). *Manual de Sistema de Gestión Ambiental Empresarial.* La Habana.

Veliz, J. A. (2017). *Propuesta de Planta de Tratamiento a los residuos de la Planta Piloto del Centro de Investigaciones del Níquel.* Moa.: Informe Técnico de la Planta Piloto.

ANEXO 1. FIGURAS DE LA INVESTIGACIÓN

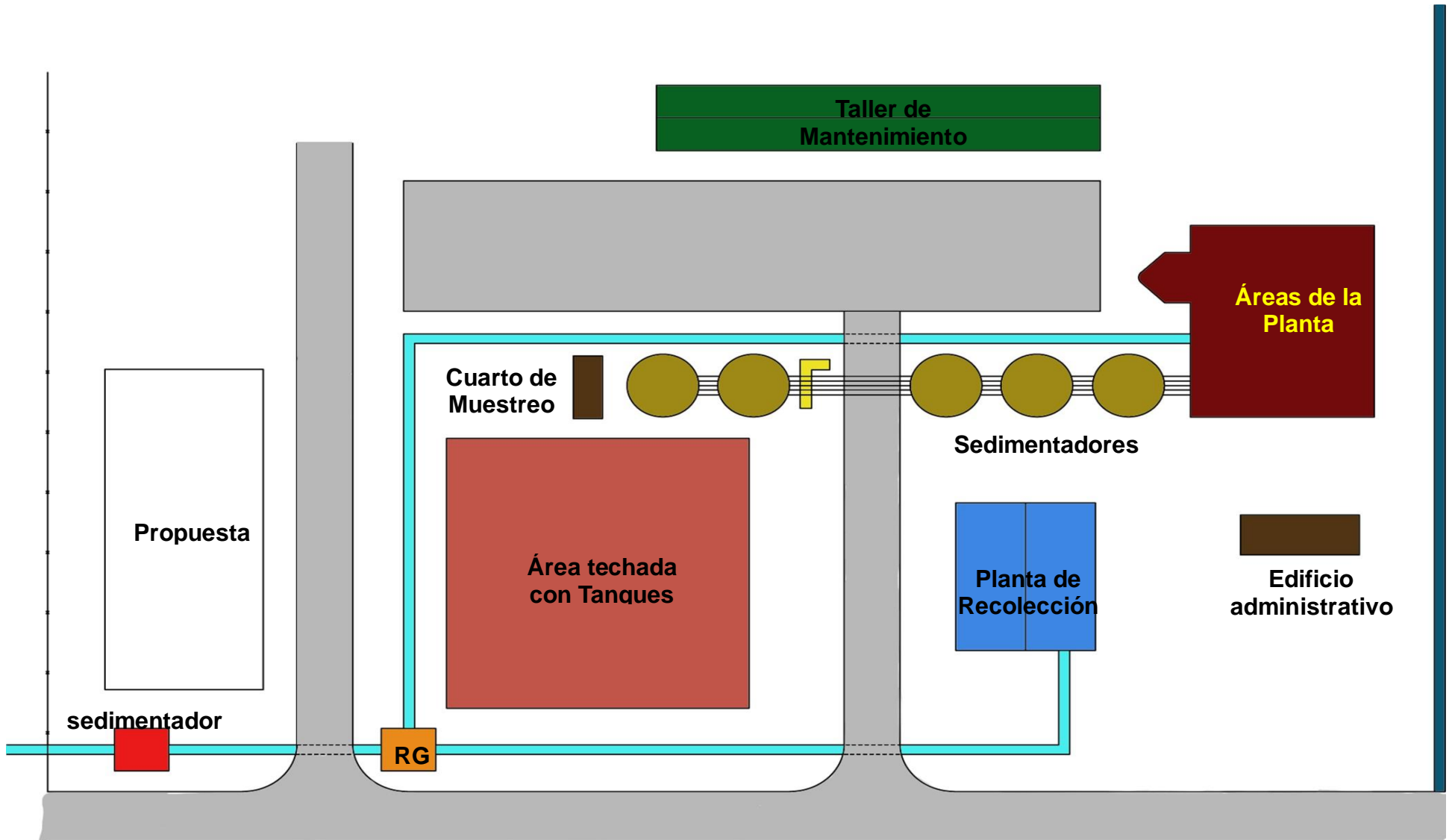


Figura 2.1. Diseño de la Planta Piloto del CEDINIQ.



Fig. 2.2. Piscina de recolección de la planta piloto.



Figura 2.4. Imagen Balanza electrónica analítica RANDWAG.



Figura 2.5. Horno de secado MEMMERL



Figura 2.6. Bomba de Vacío Modelo VAUMMPUMPEM₂C.



Figura 2.7. Equipo de Absorción Atómica ATI Unicam



Figura 2.8. Equipo medidor de pH marca Nahita Precise pH meter.



Figura 2.9. Equipo medidor de conductividad marca WTW inoLab modelo cond-7310.



Figura 2.10. Mufla modelo NABERTHERM

ANEXO 2. TABLAS DE DATOS DE LA INVESTIGACIÓN

Tabla 2.1. Composición del licor producto derramado en la Planta Piloto.

Elementos	Valores	Unidad de Medida
Ni	1.09	%
Co	0.0015	%
Fe, total	0.004	%
NH ₃	65	g/L
CO ₂	33	g/L
Sólidos en suspensión	Hasta 100	ppm

Fuente: (Angulo, 2016).

Tabla 2.2. Resultados de la caracterización físico-química de las muestras. Elementos metálicos. (mg/L).

Elementos Metálicos.											
U. M.	Ni	Co	Zn	Cu	Cr	Al	Fe	V	Pb	Mg	Mn
LMPP	-	<5.0	5.0	<5.0	2.0	<10	-	-	1.0	-	-
NC 27:2012											
Punto	1.071	0.100	0.031	0.008	0.031	0.120	49.20	N/D	N/D	0.319	0.490
Muestreo 1											
Punto	0.343	0.044	0.008	0.029	1.283	10.30	2.50	N/D	0.009	8.11	0.17
Muestreo 2											
Punto	0.081	0.042	0.063	0.078	N/D	0.112	0.123	0.106	0.271	33.05	0.016
Muestreo 3											

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2.3. Resultados de la caracterización físico-química de las muestras. Indicadores.

	Indicadores de calidad del agua										
U. M	pH	C. E μS/cm	S. T mg/L	S.S mg/L	S. D mg/L	D. T mg/L	Alcalinidad mg/L	NH ₃ mg/L	T °C	S ²⁻ mg/L	Grasas y Aceites mg/L
LMPP NC 27:2012	6-9	<4000	-	<10	-	-	-	-	<50	5.0	<50
Punto Muestreo 1	8.027	649	278	228	194	72	62.30	87.52	23.5	24.94	25
Punto Muestreo 2	9.040	825	748	8.32	720	89	78.50	26.93	23.4	17.80	18
Punto Muestreo 3	9.050	728	450	418	418	154	116.82	134.64	26.4	10.68	20

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2.4. Comparación de la muestra por años del punto 1

Año	pH	ST	SS	SD	S²⁻	SO₄	T⁰ C
2016	9.269	246	165	200	68.08	48.84	23.4
2017	8.409	748	125	720	54.04	28.38	20.09
2018	8.027	210	128	320	65.42	33.2	25.6

Fuente: Elaboración propia.

Leyenda:

ST: Sólidos Totales.

SS: Sólidos Sedimentables.

SD: Sólidos Disueltos.

S²⁻ : Sulfuros.

SO₄: Sulfatos.

T: Temperatura.