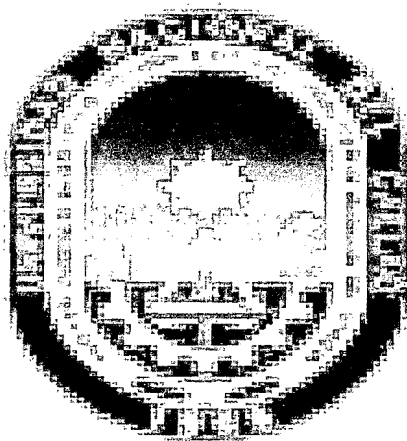


UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

**FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE RECURSOS
NATURALES**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL
Y DE RECURSOS NATURALES**



“TRATAMIENTO DE LOS EFLUENTES ÁCIDOS DE LA COMPAÑÍA MINERA CAUDALOSA S.A. POR EL MÉTODO NCD PARA SU DISPOSICIÓN FINAL EN EL CUERPO RECEPTOR- RÍO ESCALERA”

TESIS

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES
PRESENTADO POR EL**

**BACHILLER. WILFREDO APONTE ESPINOZA
CALLAO - 2011**

AGRADECIMIENTO

En primer término quiero agradecer a todos mis profesores quienes forjaron mi formación académica en cada una de las materias de la curricula.

Al jurado revisor de esta tesis **Ing. Máximo Fidel BACA NEGLIA,**
Blgo. Jeni Víctor BARBOZA PALOMINO, **Ing. Abner Josue VIGO**
ROLDAN.

Al **Ing. Carmen Elizabeth BARRETO PIO,** Asesora de la tesis

A mis padres por la mejor herencia que me dejaron, los buenos valores que siempre me inculcaron a demás a mis familiares que siempre estuvieron a mi lado en las buenas y en las malas.

A mi esposa **Roxana** por el apoyo moral e incondicional.

A mis hermanos **Elber, Ricardo, Ángel, Karina, Alexander, Nélica,** por su apoyo moral en circunstancias tan difíciles.

A la Compañía Minera Caudalosa S.A. por darme la oportunidad de poder realizar esta investigación.

A mis compañeros de trabajo de la Empresa Minera Caudalosa S.A., quienes siempre me han apoyado y confiado en mi.

ÍNDICE

❖ RESUMEN

❖ INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
1.2	JUSTIFICACIÓN	12
1.3	IMPORTANCIA	12
1.4	OBJETIVOS	13
	1.4.1 Objetivo General	13
	1.4.2 Objetivos Específicos	14

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1	ANTECEDENTES	14
2.2	BASES TEÓRICAS	16
	2.2.1 La minería y la contaminación ambiental en el Perú	16
	2.2.2 Caracterización del drenaje ácido de roca	18
	2.2.3 Termodinámica de la formación DAM	22
	2.2.4 Aspectos cinéticos	23
	2.2.5 Normas Legales	25
	2.2.6 Procesos de tratamiento químico activo de drenajes ácidos	30

CAPÍTULO III

HIPÓTESIS

3.1	VARIABLES	37
3.2	INDICADORES	37

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1	MATERIALES	39
4.2	METODOLOGÍA	40
	4.2.1 Tipo de investigación	40
	4.2.2 Universo	40

4.2.3 Estudios preliminares	40
4.3 MUESTREO DE LOS EFLUENTES ÁCIDOS	52
4.4. DETERMINACIÓN DEL CAUDAL	58
4.5 DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DEL PROCESO	59
4.6 POTENCIAL NEUTRALIZANTE (en Kg CaCO ₃ /TM) DE VARIOS RELAVES DE FLOTACIÓN	59
4.7 CONCENTRACIÓN DE FLOCULANTE	60
4.8 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO NCD A NIVEL DE PLANTA	60
4.8.1 Conducción de los efluentes ácidos	60
4.8.2 Almacenamiento de los efluentes ácidos	61
4.8.3 Dosificación de reactivos	62
4.8.4 Neutralización del agua acida y coagulación dinámica	66
4.8.5 Sedimentación y evacuación del agua tratada	67
4.8.6 Disposición de los lodos sedimentados	69
CAPÍTULO V	
RESULTADOS	
5.1. CARACTERIZACIÓN DE LOS EFLUENTES ANTES DEL TRATAMIENTO	72
5.2 DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE PROCESO	79
5.3 CARACTERIZACIÓN DE LOS EFLUENTES DESPUÉS DEL TRATAMIENTO	80
CAPÍTULO VI	
❖ DISCUSIÓN	85
CAPÍTULO VII	
❖ CONCLUSIONES	89
CAPÍTULO VIII	
❖ RECOMENDACIONES	90

CAPÍTULO IX

❖ BIBLIOGRAFÍA	91
❖ APÉNDICE	93
❖ CUADRO	94
❖ GRÁFICOS	103
❖ FIGURAS	140
❖ ANEXOS	145
PLANOS	

DEDICATORIA

A Dios fundamentalmente y a mis padres por haberme dado el regalo más preciado al igual que la vida mi profesión, por la cual viviré eternamente agradecido.

RESUMEN

Cía. Minera Caudalosa tuvo problemas con los drenajes ácidos de antiguos minados de minería metálica y en actual operación, debido a la formación geológica férrica diseminada en toda su estructura rocosa, causa de la degradación de los recursos hídricos, (Río Escalera).

Las evaluaciones de la calidad de los efluentes ácidos de la Cía. Minera Caudalosa se realizó en 10 estaciones de monitoreo y la poza de regulación, 2 monitoreos por cada punto durante el período 2008 a 2009; los resultados de muestreo para todos los parámetros antes de su tratamiento de los efluentes reportaron valores fuera de los LMP, estos indicadores demuestran que los efluentes ácidos de la Cía. Minera Caudalosa no cumplen con los LMP de la R.M. N° 011-96-EM/VMM

A finales del año 2008 Cía. Minera Caudalosa S.A. Implementa una planta de tratamiento de aguas acidas NCD (Neutralización y Coagulación Dinámica) para manejar adecuadamente todas las aguas acidas de todas las bocaminas en un solo punto. Con el objetivo que los efluentes tratados cumplan con los LMP de la R.M. N° 011-96-EM/VMM.

Cía. Minera Caudalosa desde Enero del año 2004 hasta Diciembre del año 2008; realizó el tratamiento de las aguas acidas de manera convencional en pozas revestidas de concreto, los resultados obtenidos en el tratamiento no cumplían con los límites máximos permisibles para algunos parámetros, el proceso NCD representa la mejor tecnología, entre las opciones convencionales y no convencionales, que se dispone para producir efluentes de alta calidad, volúmenes mínimos de lodo estable, consumos reducidos de energía y áreas reducidas de terreno, redundando

en el menor costo global posible. Si bien la tecnología NCD es novedosa, en el Perú ya existen 3 Plantas que la emplean con éxito desde hace 4 años.

El proceso NCD nos permitirá determinar la capacidad de remoción para la disposición final de los efluentes ácidos tratados, al cuerpo receptor, mediante una adecuada dosificación de reactivos.

El principio metodológico es aplicada y el nivel de la investigación es experimental, principalmente en métodos utilizados en campo donde se efectuaron estudios de neutralización de las aguas acidas, cuyo propósito fue obtener efluentes que estén dentro de los límites máximos permisibles establecidos en la R.M.Nº 011-96-EM/VMM y que cumplan con los estándares de calidad ambiental para su uso en riego de vegetales y bebida de animales.

INTRODUCCIÓN

El Perú es un país que tiene el privilegio de contar con un inmenso potencial de recursos naturales; la minería es un rubro importante que mantiene a nuestro país con una destacada tradición minera que se remonta desde inicios de nuestra civilización a través de nuestra historia hasta nuestros días. La actividad minera aporta el 60% de divisas a la economía nacional, este resultado constituye la existencia de compromisos de inversión, promoviendo una filosofía empresarial responsable con seguridad en las operaciones y cuidado del medio ambiente, estableciendo una relación amigable con las comunidades locales y comunidad nacional en el marco del desarrollo sostenible del país. (Cedrón, 2006).

La minería provoca importantes cambios de tipo ambiental y social, como cualquier actividad antrópica, ocasiona impactos negativos, que es preciso tener en cuenta al momento de diseñar políticas ambientales, que permita la participación de la ciudadanía en la construcción de alternativas sociales y productivas. (Delgado, 2004).

Los drenajes ácidos que generan los pasivos de minería metálica son una de las principales fuentes de contaminación de las aguas superficiales y subterráneas en el mundo; este problema puede persistir durante décadas e incluso cientos de años, una vez finalizado el ciclo productivo, por lo que es necesario prevenir su formación y aplicar el tratamiento más adecuado antes de ser vertidos al cuerpo receptor.

Los drenajes ácidos de mina además de un pH bajo, contienen una gran cantidad de sólidos en suspensión con un alto contenido en sulfatos y metales (Fe, Al, Mn, Cu, Pb, Hg, Cd, Ni, etc.), del orden de varios cientos de miligramos por litro. Estos elementos en concentraciones que superan los límites máximos permisibles, contaminan los cursos de agua, son nocivos para la actividad biológica, generando un impacto negativo en la calidad del agua de los cuerpos receptores, tan necesaria para la supervivencia de los seres vivos.

Una alternativa al tratamiento convencional es el Proceso NCD, que se ha implementando en la Cia Minera Caudalosa S.A. Siendo el objetivo del presente trabajo "Determinar la capacidad de remoción del sistema de tratamiento NCD para la disposición final de los efluentes ácidos de la Cía. Minera Caudalosa S.A."

La actual normativa ambiental, exige que las empresas cumplan con la normatividad vigente y mantener en condiciones óptimas los efluentes generados por las actividades mineras. Las demandas sociales y técnicas ambientales sobre la calidad de las aguas que son usadas para consumo humano, con fines agrícolas, así como mantener el adecuado equilibrio ecológico en las cuencas de los ríos que actualmente son afectados por la actividad minero metalúrgica, justifican la implementación de este proceso. Nuestro país está en la obligación de generar sus propias tecnologías de tal forma que se evite la importación de las mismas, siendo necesario que estas iniciativas deban de ser desarrolladas y promovidas por el sector empresarial, para lograr el desarrollo tecnológico de nuestro país.

La Compañía Minera Caudalosa S.A. desde la apertura de sus operaciones en el año de 1942 en el distrito de Huachocolpa, Provincia y Departamento de Huancavelica tuvo problemas con la generación de efluentes ácidos (DAMs), no se tomó en cuenta este problema, debido a la baja producción que se tenía en aquel entonces, según investigaciones

realizadas en el año 1970 se incrementa la producción de los minerales en la unidad, paralelo a ello se hace evidente la generación de aguas ácidas en mayor volumen en las diferentes labores mineras, estos drenajes ácidos de antiguos minados de minería metálica y de las operaciones habituales de la unidad, es una de las principales fuentes de contaminación de las aguas superficiales, subterráneas de la cuenca del río escalera.

La hipótesis planteada en el presente estudio es: "El tratamiento de las aguas ácidas mediante el proceso NCD permitirá obtener una calidad de efluente que cumple con los LMP, para su disposición final al cuerpo receptor".

CAPÍTULO I GENERALIDADES

1.5 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El drenaje ácido de minas es a nivel mundial una de las primeras causas de la degradación de los recursos hídricos. Se estima que sólo en Estados Unidos casi 20000 Km. de ríos están afectados por este problema.

Los sulfuros son minerales muy insolubles en condiciones reductoras. En la naturaleza permanecen en el subsuelo en condiciones anóxicas y sólo una pequeña parte de estos depósitos aflora en la superficie. Cuando se asientan en contacto con la atmósfera, se produce la oxidación de estos minerales, entre los cuales el más abundante es la pirita (FeS_2). La reacción genera acidez y liberan grandes cantidades de sulfatos, hierro y otros metales accesorios que contienen los sulfuros (As, Cd, Cu, Pb, Zn, etc.), produciendo un lixiviado muy tóxico. Este lixiviado reacciona con las rocas del entorno produciendo la hidrólisis de otros minerales y haciendo que se disuelvan otros elementos como Al, Ca, Mg, Mn, Na, Si, etc. produciendo un lixiviado con valores de pH muy bajos y enormes concentraciones de metales y metaloides.

La Compañía Minera Caudalosa S.A., tiene problemas con los DAM, debido a la formación geológica férrica diseminada en toda su estructura rocosa, es una de las razones por la cual se puede observar que todos los

desmontes que son extraídos de mina tienden a oxidarse rápidamente, cuando estos son dispuestos en los botaderos de desmonte. ¿Es el drenaje ácido de minas, la causa de la degradación de los recursos hídricos?

1.6 JUSTIFICACIÓN

Las demandas sociales y técnico ambientales sobre la calidad de las aguas que regularmente son usadas con fines agrícolas y mantener el adecuado equilibrio ecológico en las cuencas de los ríos que actualmente son afectados por la actividad minero metalúrgica, justifican la implementación del proceso NCD.

La actual normatividad ambiental de los diferentes actores involucrados obliga a las empresas y sectores de la sociedad a mantener en condiciones óptimas los efluentes generados por sus actividades y hacen necesario que se impulse el desarrollo de tecnologías adecuadas con el fin indicado.

Nuestro país está en la obligación de generar sus propias tecnologías de tal forma que se evite la importación de las mismas, siendo necesario que estas iniciativas deban de ser desarrolladas y promovidas, y lograr así el desarrollo tecnológico de nuestro país.

1.7 IMPORTANCIA

La Compañía Minera Caudalosa S.A. desde la apertura de sus operaciones en el año de 1942 en el distrito de Huachocolpa, Provincia y Departamento de Huancavelica tuvo problemas con la generación de efluentes ácidos (DAM), no se tomó en cuenta este problema, debido a la baja producción que se tenía en aquel entonces. A inicios del año 1970 se incrementa la producción de los minerales en la unidad; paralelo a ello se hace evidente la generación de aguas acidas en mayor volumen en las diferentes labores mineras. Estos drenajes ácidos de antiguos minados de minería metálica y de las operaciones habituales de la unidad, es una de

las principales fuentes de contaminación de las aguas superficiales, subterráneas, de la cuenca del río escalera, ya que se realizaba el vertimiento sin un previo tratamiento. En agosto del año 1970 por primera vez se opta por agregar cal apagada directamente sobre el canal por donde fluía el agua acida, descargándose de manera conjunta con los lodos al cuerpo receptor, el Río Escalera.

El año 1992, con las nuevas normas de protección ambiental y con las fiscalizaciones que se implementaron por parte del estado peruano, encargando para este efecto al ministerio de energía y minas, se empezó a tomar el problema seriamente.

El tratamiento permitirá controlar y mitigar la contaminación por aguas acidas del Río Escalera.

1.8 OBJETIVOS

1.8.1 Objetivo General

- Determinar la capacidad de remoción del sistema de tratamiento NCD para la disposición final de los efluentes ácidos de la Cía. Minera Caudalosa S.A.

1.8.2 Objetivos Específicos

- Caracterización de los efluentes ácidos antes del tratamiento.
- Determinar los parámetros de operación del proceso.
- Aplicación del método NCD para el tratamiento de las aguas acidas.
- Caracterización de los efluentes después del tratamiento.

CAPÍTULO II

MARCO TEORICO

2.1 ANTECEDENTES

La minería, como la gran mayoría de las actividades humanas, es una actividad que ocasiona daños inmediatos a la naturaleza; sin embargo es una importante fuente de obtención de riquezas que contribuyen al logro de la sustentabilidad de las comunidades. Para entender las características de la actividad minera es importante conocer la definición de minerales.

Llama poderosamente la atención la relación directa que se establece en esta definición entre lo que se ha dado en llamar minerales y la técnica. En este sentido es importante afirmar que un determinado nivel de utilización de una técnica o tecnología minera es decisivo para explicar las características de la minería desde su exploración hasta sus impactos y utilización de los diferentes productos portadores de elementos útiles. (Otaño, 1984).

Los impactos sobre el medio ambiente varían de acuerdo al tipo de mineral que se va a extraer. Independientemente de esto, hay un elemento común llamado pirita, que es propia de una profunda e inevitable actividad destructiva sobre los recursos no renovables directos y los indirectos, además, ocasiona impactos de importancia sobre recursos renovables

asociados a las zonas donde se ubican los complejos mineros. (Otaño, 1984).

El proceso de Neutralización y Coagulación Dinámica (Proceso NCD) es un proceso basado en relaves finos que opera con éxito desde mayo del 2004 en la Planta de Neutralización del Túnel Victoria. Esta Planta NCD, que emplea una combinación de relaves y cal para tratar el efluente ácido, maneja caudales hasta de 450 l/s, siendo la Planta de mayor capacidad en Latinoamérica y tercera en el Mundo.

Con respecto a la altitud, que es un factor importante en las Plantas de Neutralización, la Planta NCD Victoria es la de mayor capacidad que opera sobre 4000 m.s.n.m. en el Mundo, esta ubicado en el Departamento de Junín, Provincia de Yauli, perteneciente a la empresa Minera Volcan. (Villachica, 2002).

La Compañía Minera Sipán S.A., en Cajamarca, perteneciente al grupo HOSHILD, es la primera planta de tratamiento de aguas ácidas que operara con caliza con una capacidad de 100 l/s (Pilotaje realizado con Caliza por la Empresa Consulcont). (Villachica, 2002); Sayapullo en La Libertad, para una capacidad de 320 l/s (Estudio Ing. Básica, realizado con Caliza). Elaborado por la Empresa Smallvill SAC. (Villachica, 2002); Argentina, Jujuy, para una capacidad de 80 l/s (Pruebas preliminares, con relave), realizado por la Empresa Smallvill SAC.; Argentina, Tucumán, para una capacidad estimada de 1500 l/s (Estudio para Cierre de Mina), realizado por la Empresa Consulcont SAC; Pilotaje en el Túnel Kingsmill, con miras a la construcción de la planta industrial para el tratamiento de estas aguas, en la actualidad lo ejecuta la Empresa Cosapi S.A. (Villachica, 2002); Procesos NCD en la compañía Minera Caudalosa S.A para el Tratamiento de Aguas acidas.

La revisión de alternativas de tratamiento para el drenaje de las

antiguas labores que se encuentran dentro del denuncia minero de la Compañía Minera Caudalosa S.A como labores antiguas propias y de antiguos mineros ha sido parte de estudios conceptuales y de diseño preliminar durante los años 2007 y 2008. Los estudios realizados por consultoras privadas, han recomendado la utilización del proceso HDS (lodos de alta densidad) en base a cal para el tratamiento del agua que drenan las antiguas labores que se encuentran dentro del denuncia minero de la Compañía minera Caudalosa S.A, pero estas recomendaciones no han sido sustentadas con un Pilotaje en el mismo lugar del proyecto.

El tratamiento convencional del drenaje ácido de roca (DAR) involucra la neutralización de estos drenajes ácidos con un álcali, seguida por la separación de sólidos para producir agua limpia y un lodo que contenga los contaminantes para su disposición aparte. Los reactivos considerados para la neutralización incluyen:

- Cal viva o cal hidratada – CaO o Ca(OH)_2
- Soda cáustica – NaOH
- Cal dolomítica – MgO
- Caliza, carbonatos de calcio o /y magnesio. CaCO_3 ; $(\text{CaMg})\text{CO}_3$
- Residuos de Combustión, Relaves mineros u otros residuos alcalinos

El proceso NCD hace uso de relave fino proveniente de la planta concentradora para el tratamiento de las aguas acidas.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 La minería y la contaminación ambiental en el Perú

Las actividades de explotación minera metalúrgica ha ocasionado gran parte de la contaminación ambiental en el Perú, producto de las emisiones y vertimientos mineros tal es así que forma parte inherente de su historia.

Antes de la década de los 80 del siglo pasado, la falta de una adecuada legislación ambiental trajo como consecuencia que algunas empresas mineras realizaran sus actividades en lugares inadecuados, con emisiones de efluentes contaminantes, sólidos, líquidos y gaseosos, provocando el deterioro de flora, fauna y agua.

Esta ausencia de normas específicas sobre protección del medio ambiente en el pasado, no sólo en el Perú sino en muchos países, la antigüedad de sus instalaciones, su ubicación en áreas urbanas, la notable falta de recursos financieros, no sólo para modernizar sus instalaciones si no, lo que es más grave, para asegurar su continuidad en el mediano y largo plazo, explican la magnitud de la agresión ambiental, que las empresas a pesar de sus escasos recursos, han venido enfrentando, cada una con sus propias características y esfuerzos.

La Ley General de Minería dispone que los titulares de la actividad minera estén obligados a desarrollar sus actividades con sistemas, métodos y técnicas sujetas a las normas de seguridad, higiene y saneamiento aplicables a la industria.

Asimismo, las actividades deben evitar en lo posible, daños a terceros, quedando el titular obligado a la indemnización por cualquier perjuicio que cause. En la ley también se establece la obligación de evaluar y controlar agentes nocivos y para dirigir, implementar y fiscalizar las medidas establecidas en ella, en 1992, se creó la Dirección General de Asuntos Ambientales en el Sector Energía y Minas.

2.2.3 Caracterización del drenaje ácido de roca

La presencia de sulfuros en muchos estériles de mina y la consecuente formación de Drenajes Ácidos de Mina (DAM) ha sido ampliamente reconocida como uno de los grandes problemas ambientales en muchas regiones mineras de todo el mundo así lo indican muchos investigadores como : Kinney, (1964); ARC, 1969; Letterman y Misch, 1978; Kempe, 1982; Glover, 1982; Ritcey, 1986; Johnson y Thornton, 1987; Herlihy et al 1990; Short et al; 1990; Sengupta, 1993, Calvo y Pérez, 1994, entre otros). La necesidad de prevenir la formación de DAM ha provocado el desarrollo de numerosas investigaciones sobre los mecanismos de oxidación y su prevención (Singer y Stumm, 1970; Kleinmann, 1981; Nordstrom, 1982; Lowson, 1982; Caruccio, 1989).

La oxidación de los sulfuros es compleja y sus efectos pueden variar enormemente entre distintos lugares y condiciones, por lo que la gestión adecuada de los DAM requiere la comprensión de los diversos procesos que controlan las variaciones espaciotemporales de su calidad.

El drenaje ácido de roca (DAR) es un fenómeno que se experimenta en varias minas de oro, metales base y carbón en el mundo y se forma cuando los sulfuros minerales contenidos en las labores subterráneas, roca de desmonte, relaves y otros componentes de una mina, son expuestos al aire y agua. El drenaje ácido resulta cuando la capacidad oxidante de un componente, la cual es función de su composición en sulfuros minerales, excede la capacidad del componente de neutralizar la acidez. La neutralización de la acidez puede ocurrir debido a la reacción del drenaje con minerales tales como carbonatos y algunos silicatos reactivos. El drenaje resultante, el cual puede

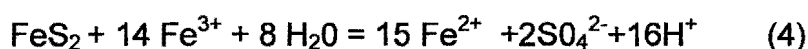
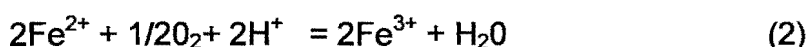
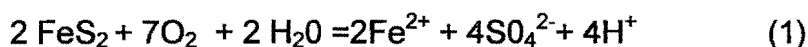
variar considerablemente con respecto al pH y su carga de metales, puede tener serios impactos sobre el ambiente receptor debido no sólo a su posible acidez, sino también a los metales pesados que pueden ser lavados a medida que el agua corre a través de la mina o de los residuos mineros. El DAR es probablemente el más serio de los retos ambientales en minería y actualmente debe ser considerado por todas las compañías que se encuentran desarrollando y llevando a cabo planes de manejo de residuos para cumplir con las normas ambientales vigentes.

Las llamadas aguas ácidas de mina son aquellas que ocurren como consecuencia de la oxidación natural de sulfuros presentes en rocas expuestas a la acción del intemperismo (aire y agua). Se sabe también que la presencia de la actividad biológica puede acelerar las reacciones de oxidación de los sulfuros. Las características principales de las aguas ácidas son su bajo pH (llegándose a niveles de pH cercanos a 2), su alto contenido de iones (principalmente sulfatos e iones metálicos) y acidez muy alta (a niveles próximos a los 5000 mg de CaCO_3 equivalente por litro).

Otra característica importante del drenaje ácido de mina es su gran capacidad para movilizar metales pesados que puedan estar presentes en los sulfuros. Las aguas ácidas de mina ofrecen un medio favorable para la presencia de iones metálicos en distintas concentraciones de elementos como hierro, magnesio, aluminio, manganeso, cobre, zinc, plomo, etc.

Kleinmann y otros, en 1981 propusieron las reacciones de la oxidación geoquímica para la pirita. Las reacciones que

describen con mayor claridad el proceso de generación de aguas ácidas son las que describen la oxidación de la pirita (FeS_2) que es uno de los minerales siempre presente en los yacimientos de sulfuros:



La ecuación (1) describe el proceso de oxidación de la pirita en su primera fase. Para que esta reacción ocurra es necesaria la presencia de oxígeno y tal como se puede apreciar la oxidación del hierro no es completa pues el producto de la reacción es el ión ferroso y no el férrico. Los productos de la reacción (1) van a generar el inicio de la acidificación del agua la cual, de no ser neutralizada provocará a su vez la caída del pH.

La ecuación (2) ocurre cuando el ambiente es lo suficientemente oxidante como para convertir al ión ferroso en férrico. La precipitación del hidróxido férrico ocurre cuando el pH es superior a 2,3. De no ocurrir la precipitación del hidróxido férrico, el ión férrico existente podría contribuir a acelerar el proceso de oxidación de la pirita tal como se describe en la ecuación (4).

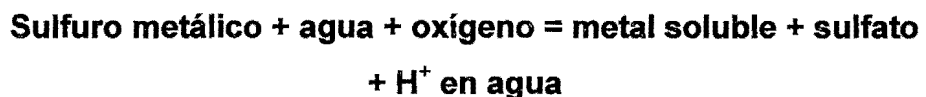
La actividad biológica puede jugar un rol importante acelerando o desacelerando la oxidación de los sulfuros. *Thiobacillus Ferrooxidans* es conocido por acelerar las reacciones (2) y (4) a través de su capacidad para acelerar la oxidación del ión ferroso. Sin embargo para que la actividad

bacteriana realmente acelere los procesos de oxidación el pH del medio debe ser inferior a 3,2. Por otro lado se sabe que la intensidad de la actividad bacteriana depende de la temperatura y que temperaturas muy bajas tienden a inhibir la acción bacteriana.

A pesar que la pirita es un mineral predominante en los depósitos de sulfuros, los procesos de oxidación descritos pueden afectar a otros sulfuros.

Mecanismos de la contaminación acuosa

Betournay y otros mencionan que los relaves del procesamiento de depósitos de metales básicos y preciosos, rocas del sistema de tajo abierto y rocas de desecho, contienen frecuentemente cantidades significativas de minerales sulfurosos tales como pirita (FeS_2) y la pirrotita (FeS_{n+1}). También pueden estar presentes pequeñas cantidades de otros sulfuros tales como la calcopirita (CuFeS_2), arsenopirita (FeAsS), galena (PbS) y esfalerita (ZnS), dependiendo del proceso de extracción y la naturaleza de la mineralización del depósito. La reacción de estos sulfuros con agua y oxígeno para producir Drenajes Ácidos de Mina, ocurre de acuerdo a la reacción generalizada:



Reduciendo la cantidad de oxígeno y/o de agua disponible. Los sulfuros pueden contener otros cationes (Hg, Sb, Mo, Co, Cd) y aniones (PO_4^{-2} , AsO_4^{-2} , Cl^{-1}). Una solución DAM típica podría contener 2500 mg/l de sulfato, con varias concentraciones de un amplio rango de otros elementos. La

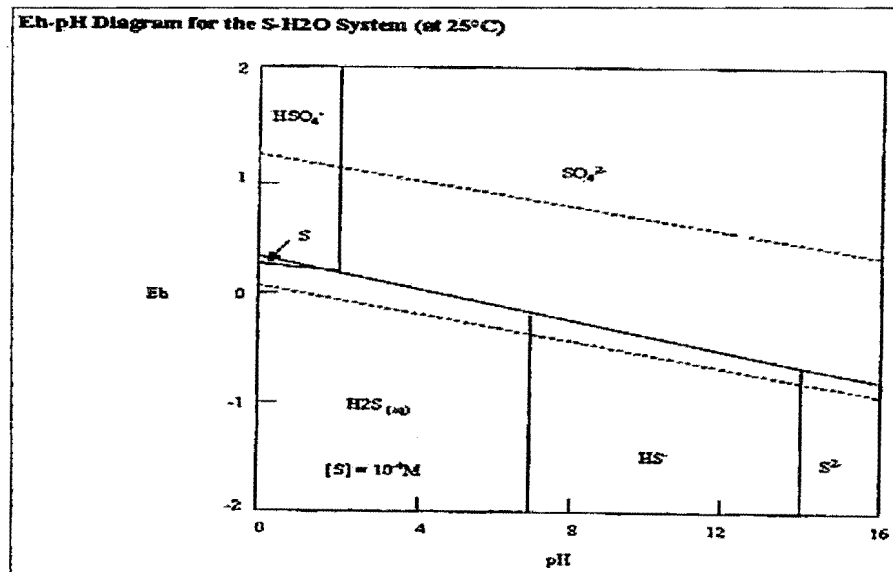
velocidad de la producción de ácido depende de factores tales como temperatura, el pH, y la fuerza electromotriz de la solución en contacto, así como de la mineralogía, el área superficial de la partícula de sulfuro y la actividad biológica.

2.2.3 Termodinámica de la formación DAM

En el diagrama de Pourbaix Fig.2.1, observamos que el S^{2-} de la piritita se encuentra en un pH básico (14 - 16) y el Potencial E (v) (-1.0 a -1.5) para estar estable, ahora si incrementamos su potencial de oxidación hasta 1.0 manteniendo su pH o disminuyendo hasta 4 formaremos SO_4^{2-} (de FeS_2 a $FeSO_4$)



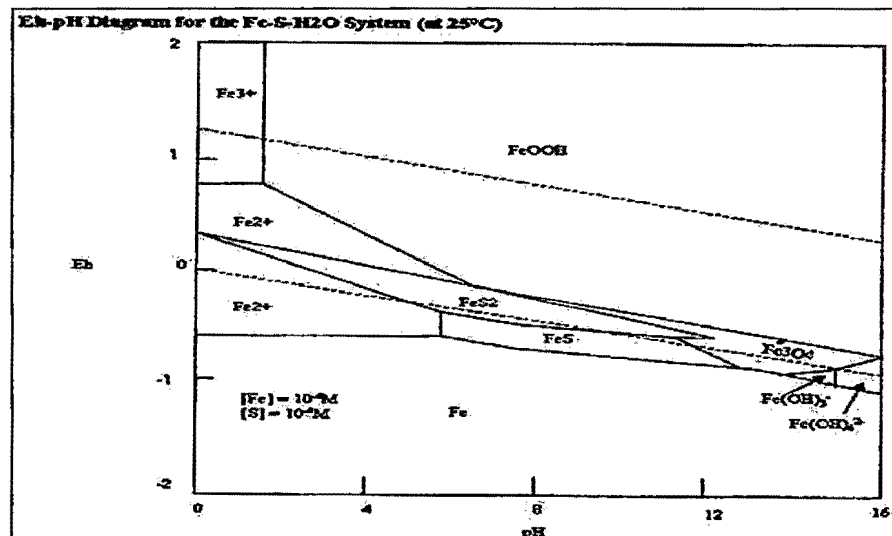
Fig.2.1. Diagrama de Pourbaix



El Fe^{+2} ($FeSO_4$) que se encuentra en un pH ácido, incrementando su potencial de oxidación de [-0.4 a 1.6] para obtener Fe^{+3} $Fe(OH)_3$.



Fig. 2.2 Diagrama de Pourbaix



2.2.4 Aspectos cinéticos

La velocidad de reacción es una variable muy importante en relación al impacto ocasionado por las aguas ácidas. Si el proceso de oxidación/hidrólisis ocurre lentamente, el medio natural puede incorporar los drenajes ácidos producidos sin que se produzca alteración significativa, pero la generación rápida de aguas ácidas puede tener graves consecuencias.

La velocidad de reacción depende de numerosas variables, como:

- Temperatura.
- Tipo de mineral sulfuroso y superficie expuesta
- Concentración de oxígeno
- pH del agua
- Agentes catalíticos y actividad química del hierro
- Energía de activación química requerida para que se inicie la reacción.

- Presencia de Thiobacillus y otras bacterias

La mayoría de los sulfuros metálicos que intervienen en la generación de aguas ácidas son de hierro, pero sus diversas variedades presentan distinto grado de reactividad. Por ejemplo, la marcasita (FeS_2) es muy inestable y a partir de ella se generan aguas ácidas mucho más rápidamente que a partir de la pirita, aunque las dos tienen la misma fórmula.

Los sulfuros de otros metales comunes (plomo, zinc, cobre, etc.) son generalmente menos reactivos que los de hierro; en parte por la mayor estabilidad de su estructura cristalina, y en parte porque, como producto de su oxidación, forman minerales poco solubles y no reactivos, que encapsulan las partículas de sulfuro aislándolas del agua y el aire, e impidiendo con ello que continúe la reacción.

El tamaño y la forma de los granos de mineral también es un factor importante, en cuanto a que determina la superficie de mineral reactivo que queda expuesta a la acción del aire y del agua. Son mucho más reactivas las variedades de grano fino, pobremente cristalizadas, que las que contienen gruesos granos cristalinos, ya que presentan mucha mayor superficie por unidad de volumen.

Los nuevos minerales que se forman en el proceso de generación de agua ácida pueden modificar la proporción de superficie expuesta de mineral reactivo. Cuando alguno/os de ellos son insolubles y no reactivos pueden recubrir los granos de mineral evitando total o parcialmente el contacto de éstos con el aire y el agua, y frenando con ello el proceso de generación de acidez.

Otros productos del proceso actúan en sentido inverso, ya que pueden reaccionar adicionalmente con el mineral reactivo acelerando la velocidad de oxidación, como se señaló para la pirita en la reacción (4), en la que el hierro férrico actúa como agente oxidante adicional. En cuanto al agua y el oxígeno, los dos son componentes esenciales de la reacción, y si falta cualquiera de ellos ésta no se produce. Sin embargo, se necesitan grandes cantidades de oxígeno en relación con el volumen necesario de agua. Por ejemplo, sumergiendo el mineral reactivo en agua a menudo se logra parar la reacción, ya que la velocidad de difusión del oxígeno en el agua es muy pequeña, mientras que con el aire contenga una pequeña cantidad de humedad ya se induce la reacción. En general, puede considerarse que la velocidad de reacción es directamente proporcional a la presión parcial del oxígeno.

El pH y la temperatura son dos factores de control de la velocidad de reacción muy relacionados con la actividad bacteriana. En general el óptimo de reacción se produce a temperaturas medias y altas (25 a 30°C) y en un rango de pH de entre 2,5 y 3,5. (Fábrega, 1999).

2.2.5 Normas Legales

Constitución política del Perú 1993.- Que La Constitución Política del Perú establece en su artículo 2º inciso 22 que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida. el marco general de la política ambiental se rige por el artículo 66º, 67º y 68º en el cual el estado determina la política nacional ambiental y promueve la conservación y uso sostenible de los recursos.

Código penal D.leg. N° 635.- considera al medio ambiente como un bien jurídico, de carácter socioeconómico. Sanciona los delitos contra los recursos naturales con pena privativa de libertad individual y sanciones pecuniarias.

LEY GENERAL DEL AMBIENTE LEY N° 28611

Título III; Integración de la Legislación Ambiental

Capítulo 3; calidad ambiental

Artículo 117°.- Del control de emisiones

117.1 El control de las emisiones se realiza a través de los LMP y demás instrumentos de gestión ambiental establecidos por las autoridades competentes.

117.2 La infracción de los LMP es sancionada de acuerdo con las normas correspondientes a cada autoridad sectorial competente.

Artículo 120. - De la protección de la calidad de las aguas

120.1 El Estado, a través de las entidades señaladas en la Ley, está a cargo de la protección de la calidad del recurso hídrico del país.

120.2 El Estado promueve el tratamiento de las aguas residuales con fines de su reutilización, considerando como premisa la obtención de la calidad necesaria para su reuso, sin afectar la salud humana, el ambiente o las actividades en las que se reutilizarán.

Artículo 121. - Del vertimiento de aguas residuales

El Estado emite en base a la capacidad de carga de los cuerpos receptores, una autorización previa para el vertimiento de aguas residuales domésticas, industriales o de cualquier otra actividad desarrollada por personas naturales o jurídicas, siempre que dicho vertimiento no cause deterioro de la calidad

de las aguas como cuerpo receptor, ni se afecte su reutilización para otros fines, de acuerdo a lo establecido en los ECA correspondientes y las normas legales vigentes.

Artículo 122. - Del tratamiento de residuos líquidos

122.3 Las empresas o entidades que desarrollan actividades extractivas, productivas, de comercialización u otras que generen aguas residuales o servidas, son responsables de su tratamiento, a fin de reducir sus niveles de contaminación hasta niveles compatibles con los LMP, los ECA y otros estándares establecidos en instrumentos de gestión ambiental, de conformidad con lo establecido en las normas legales vigentes. El manejo de las aguas residuales o servidas de origen industrial puede ser efectuado directamente por el generador, a través de terceros debidamente autorizados a o a través de las entidades responsables de los servicios de saneamiento, con sujeción al marco legal vigente sobre la materia.

LEY GENERAL DE AGUAS DECRETO LEY N° 17752

Título II – Capítulo II de la preservación

Artículo 22°.-Esta prohibido verter o emitir cualquier residuo, sólido, líquido o gaseoso que pueda contaminar las aguas, causando daños o poniendo en peligro la salud humana o el normal desarrollo de la flora o fauna o comprometiendo su empleo para otros usos. Podrán descargarse únicamente cuando:

- a. Sean sometidos a los necesarios tratamientos previos;
- b. Se compruebe que las condiciones del receptor permitan los procesos naturales de purificación;
- c. Se compruebe que con su lanzamiento no se causará perjuicio a otro uso; y
- d. En otros casos que autorice el Reglamento.

La Autoridad Sanitaria, dictará las providencias y aplicará las medidas necesarias para el cumplimiento de la presente disposición. Si, no obstante, la contaminación fuera inevitable, podrá llegar hasta la revocación del uso de las aguas o la prohibición o la restricción de la actividad dañina.

Artículo 24°.- La Autoridad Sanitaria establecerá los límites de concentración permisibles de sustancias nocivas, que pueden contener las aguas, según el uso a que se destinen. Estos límites podrán ser revisados periódicamente.

Artículo 25°.-Cuando la Autoridad Sanitaria compruebe la contravención de las disposiciones contenidas en este Capítulo podrá solicitar a la Autoridad de Aguas la suspensión del suministro, mientras se realizan los estudios o trabajos que impidan la contaminación de las aguas.

Niveles máximos permisibles para efluentes líquidos en la industria minero-metalúrgica

El Ministerio de Energía y Minas, es el encargado de controlar los niveles máximos permisibles de los efluentes líquidos contaminantes y de supervisar que estén dentro de niveles que no representen peligro directa o indirectamente para los seres vivos. Así, bajo la Resolución Ministerial N°011-96/EM/VMM, se indica: " Es necesario establecer los NIVELES MAXIMOS PERMISIBLES de los elementos contenidos en los efluentes líquidos de la industria minero metalúrgica con la finalidad de controlar los vertimientos productos de sus actividades y contribuir a la protección ambiental". Cuadro 2.1

Cuadro 2.1. Niveles máximos permisibles para efluentes líquidos

VALORES MAXIMOS PERMISIBLES DE EMISION PARA UNIDADES MINERO-METALURGICAS		
PARAMETRO	VALOR EN CUALQUIER MOMENTO	VALOR PROMEDIO ANUAL
pH	Mayor que 6 menor que 9	Mayor que 6 menor que 9
Sólidos suspendidos (mg/l)	50.0	25.0
Plomo (mg/l)	0.4	0.2
Cobre (mg/l)	1.0	0.3
Zinc (mg/l)	3.0	1.0
Hierro (mg/l)	2.0	1.0

VALORES MAXIMOS DE EMISIONES UNIDADES MINERAS EN OPERACION O QUE REINICIAN OPERACIONES		
PARAMETRO	VALOR EN CUALQUIER MOMENTO	VALOR PROMEDIO ANUAL
pH	Mayor que 5.5 menor que 10.5	Mayor que 5.5 menor que 10.5
Sól. suspendidos (mg/l)	100	50.0
Plomo (mg/l)	1	0.5
Cobre (mg/l)	2	1.0
Zinc (mg/l)	6	3.0
Hierro (mg/l)	5	2.0
Arsénico (mg/l)	1	0.5
Cianuro total (mg/l)	2	1.0

Fuente: MINEM-DGAAM 1996

2.2.6 Procesos de tratamiento químico activo de drenajes ácidos

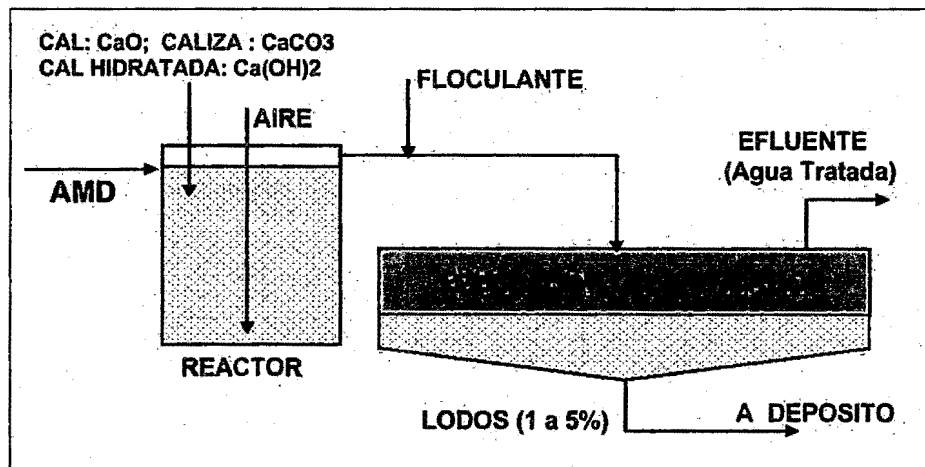
a) Tratamiento de aguas acidas en una planta convencional

El proceso de tratamiento más común utilizado en el tratamiento de aguas ácidas es el que emplea cal, en cuya etapa inicial se produce la neutralización de la acidez y finaliza con la oxidación del hierro ferroso para formar hidróxido férrico que es insoluble y precipita. El proceso comienza con la entrada del agua ácida a la planta, a través de un canal donde se mide el caudal y el pH; pasa seguidamente a las cubas de neutralización donde se adiciona la lechada de cal hasta alcanzar un valor del pH entre 9 y 9,5; con el que se consigue que se formen los hidróxidos de hierro y manganeso. Estas cubas disponen de unos agitadores que garantizan una mezcla homogénea, transcurrido cierto tiempo. En un depósito más pequeño se recogen las aguas de recirculación de los fangos del decantador y las aguas sucias procedentes del lavado de los filtros. Seguidamente el agua pasa por gravedad a los tanques de aireación, donde el oxígeno atmosférico se incorpora al agua mediante unas turbinas de agitación y se consigue la oxidación del hierro ferroso y el manganeso.

En el canal de rebose de los tanques de aireación se añade policloruro de aluminio, que es un floculante primario. El agua entra a continuación en los decantadores-floculadores o clarificadores, transportando los pequeños flóculos de los precipitados coloidales y materiales en suspensión. Para producir el encadenamiento de dichos flóculos y posterior decantación se dosifica sobre una campana de reacción un polielectrolito aniónico, que es un compuesto polímero. El lecho de fangos que se forma en el fondo del decantador se barre hacia el centro mediante un rastrillo giratorio y su purga se efectúa desde la arqueta central inferior. El agua clarificada

que sale del decantador pasa a unas centrifugadoras o a unos filtros de arena distribuyéndose por medio de unos canales longitudinales. El material del lecho de filtrado suele ser arena silíceo, que es soportada por un falso fondo constituido por losas prefabricadas de hormigón armado, que disponen de unas boquillas que sirven para coleccionar de forma uniforme el agua filtrada y distribuir el agua y el aire de lavado necesario para la limpieza del filtro, que son apartados por un canal longitudinal situado en la parte inferior. La selección del tamaño del clarificador o sedimentador se puede realizar en función al caudal de tratamiento y la densidad de los lodos producidos. Fig. 2.3 (Aduvire, 2008).

Fig. 2.3. Diagrama de flujo planta de tratamiento convencional para agua ácida



Fuente: Aduvire 2008

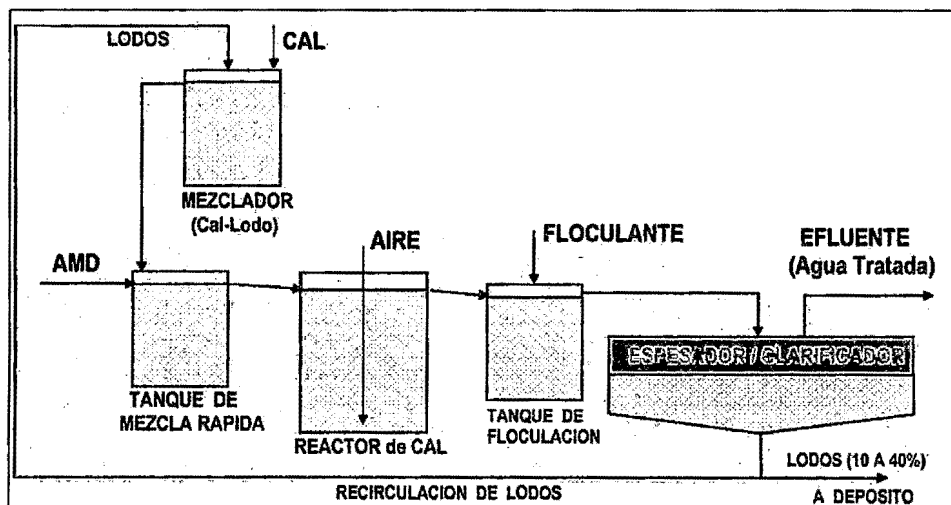
b) Tratamiento de aguas ácidas en una planta HDS (Lodos de alta densidad)

El paso de la sedimentación frecuentemente ofrece las oportunidades más importantes para intensificación del proceso de tratamiento en su totalidad. Eso es porque el proceso de sedimentación gobierna la densidad del lodo de hidróxidos producido, que a su vez controla el volumen de

residuos que se precisa recoger. La sedimentación en un estanque clarificador de una planta convencional suele dar lodos con un contenido en sólidos de no mayor del 5% (en peso). Un enfoque sencillo de tratamiento de aguas ácidas lo constituye el proceso *HDS* (*highdensity sludge*). En este proceso se recircula mediante bombeo un porcentaje ($\leq 80\%$) del lodo final del estanque de sedimentación hasta el punto de arranque de la planta. Las partículas de lodo presentan núcleos para la precipitación de nuevos hidróxidos, y se obtiene una precipitación final de lodo con un 20% de sólidos en peso. La densidad puede aumentarse más por aplicación de filtros, prensas, etc.

La optimización de la densidad y estabilidad de lodos basado en una nueva variedad de precipitación de hidróxidos, en la que la reacción es controlada y cada partícula de hidróxido de hierro es abrigada por una capa de sílice, es la principal incorporación en este sistema. Fig. 2.4 (Aduvire, 2008)

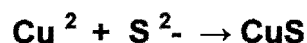
Fig. 2.4. Diagrama de flujo planta de tratamiento HDS (lodos de alta densidad) para aguas ácidas



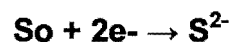
Fuente: Aduvire 2008

c) Tratamiento de aguas acidas mediante el proceso Bioteq (reducción de azufre y sulfatos)

En la actualidad también existen en el mercado procesos como los de Bioteq basados en la reducción de azufre y sulfato, para el tratamiento de aguas ácidas en el que además de obtener un agua limpia se obtiene un producto concentrado con posibilidades de aprovechamiento para la recuperación de metales. Uno de estos procesos se basa en la reducción del azufre (BioSulphide®) que tiene dos etapas: química y biológica. En la etapa química los metales son removidos del agua mediante precipitación con sulfuro biogénico producido en la etapa biológica. Los metales como cobre, zinc o níquel pueden ser precipitados de manera separada en forma de concentrados. El sulfuro puede ser producido ya sea por reducción biológica de azufre elemental o de sulfato, utilizando cultivos de bacterias reductoras. El drenaje ácido de mina ingresa al mezclador o contactor, gas-líquido el cual consiste en un tanque agitador en el que se introduce gas de sulfuro de hidrógeno proveniente del birreactor. La precipitación de metales se representa mediante la siguiente reacción:



El sulfuro de hidrógeno es producido en un bioreactor en el cual un cultivo bacterial anaeróbico mezclado reduce azufre elemental, con la adición de un donante de electrones y otros nutrientes:



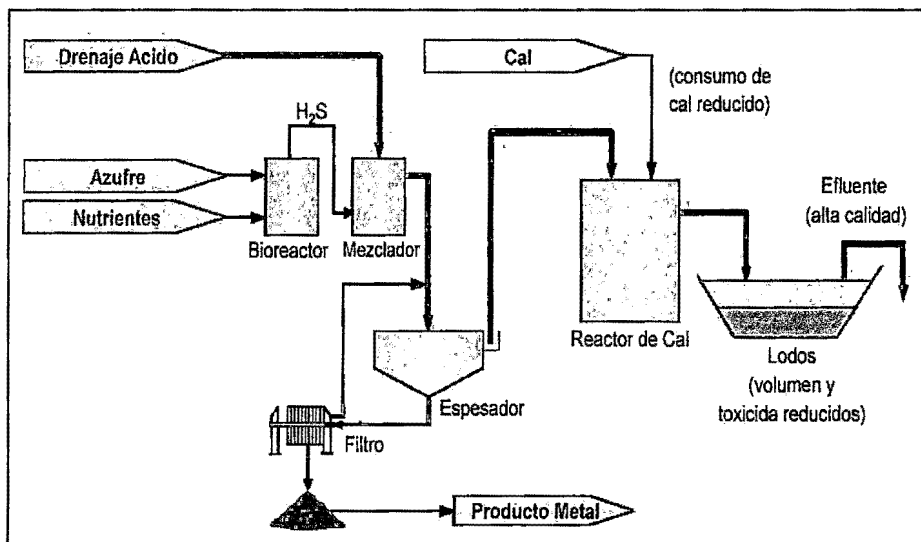
El gas del contactor, conteniendo principalmente N_2 y CO_2 , es reciclado al bioreactor donde es usado para extraer H_2S del licor del bioreactor hacia la fase de gas. El H_2S y el CO_2 son consumidos por el proceso y el N_2 es reciclado como

gas portante. Como producto se obtiene por precipitación un producto con alto contenido metálico (Cu, Zn), generalmente mayor a 50%. Otros metales pueden ser recuperados de manera separada como sulfuros de alta ley, aunque en ese caso podría requerirse un álcali más fuerte para la precipitación. Los concentrados de metal precipitado son recuperados en un clarificador y luego espesados usando una prensa filtrante para alcanzar los requerimientos de humedad de la fundición. En algunos casos, el efluente de la planta proveniente del clarificador puede ser descargado directamente al medio ambiente o recircularse al proceso. En el caso del proceso basado en reducción biológica de sulfato puede representarse mediante la siguiente reacción:



Fig. 2.5 (aduvire, 2008).

Fig.2.5. Diagrama de flujo mediante el proceso Bioteq para aguas acidas



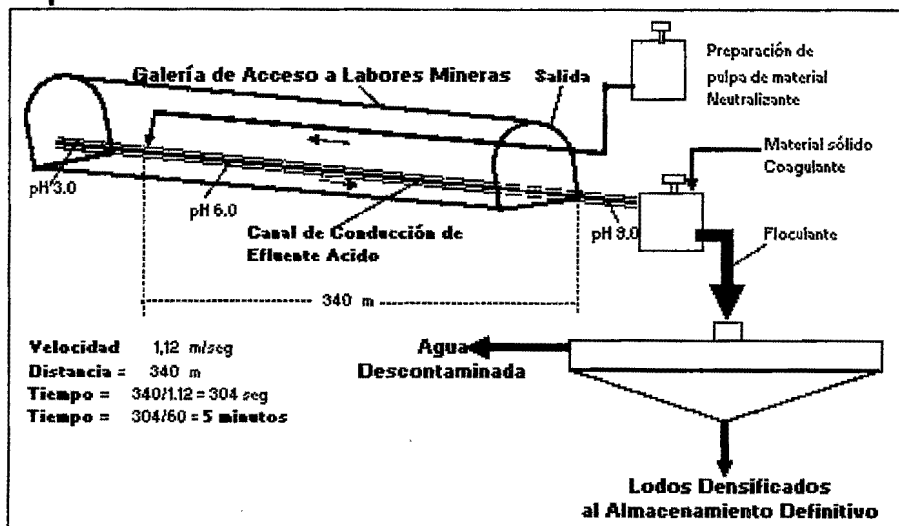
Fuente: Aduvire 2008

d) Tratamiento de aguas ácidas mediante el proceso NCD

El procedimiento aprovecha la característica coloidal de los precipitados obtenidos al neutralizar aguas ácidas de minas y la energía cinética que el efluente genera durante su conducción por canal o tubería. El agente neutralizante se añade al canal de conducción, en forma soluble o finamente dividido en una pulpa, a una distancia aguas arriba del punto de descarga suficiente para proporcionar el tiempo de contacto requerido para completar las reacciones de neutralización y precipitación de metales disueltos. La velocidad del efluente supera largamente la velocidad crítica de los precipitados generados y del agente neutralizante no consumido, debido a su granulometría fina. La separación sólido-líquido del efluente neutralizado se logra mezclando rápidamente con residuos (relaves) mineros, cuarzo, magnetita, caliza, suelos, escoria, u otro material sólido de carácter granular, que coagula los precipitados coloidales sobre su superficie, reduce su volumen y sedimenta rápidamente. El material coagulante puede ser separado y recirculado con relativa facilidad. El procedimiento tiene aplicación en el tratamiento de efluentes ácidos, neutros o alcalinos en el sector minero, metalúrgico e industrial, si se adecua las características del agente neutralizante y/o precipitante a la naturaleza química del efluente. El procedimiento puede ser empleado asimismo para la clarificación de efluentes de mina o industriales que contienen sólidos en suspensión de naturaleza coloidal en cuyo caso solo se aplica la etapa de coagulación con un material granular. Los sedimentos obtenidos son mucho más densos que los obtenidos convencionalmente, y el volumen final del sedimento es similar al volumen del agente coagulante empleado. Los sedimentos obtenidos pueden filtrarse fácilmente y obtener un depósito compacto y estable de la mezcla coagulante-

precipitado que reduce notablemente el espacio requerido. El procedimiento contempla la opción del uso directo del agente neutralizante sobre el efluente ácido a lo largo de su canal de conducción, produciendo resultados similares a los obtenidos con la neutralización en tanques reactores de gran dimensión y que consumen una cantidad importante de energía. La aplicación de residuos de planta de beneficio u otro material sólido granular como medio coagulante de los precipitados coloidales complementa el tratamiento y hace innecesario la compleja y costosa recirculación de lodos neutralizados para obtener precipitados densos, que caracteriza la tecnología más moderna de las plantas HDS. Esta aplicación reduce también en forma notable la dimensión del sedimentador requerido para la separación sólido-líquido. Finalmente el hecho de emplear residuos de la planta de beneficio reduce significativamente el costo e impacto ambiental al entorno que involucra la construcción y operación de un depósito para los lodos de neutralización, pues se aprovecha el mismo depósito de residuos sin afectar la capacidad original. Fig.2.6 (Aduvire, 2008)

Fig.2.6. Diagrama de flujo planta de tratamiento mediante el proceso NCD



Fuente: Aduvire 2008

CAPÍTULO III

HIPÓTESIS

Los efluentes tratados por el proceso NCD cumplen con los LMP para su disposición final al cuerpo receptor.

3.1 VARIABLES

Definición Conceptual de las Variables:

Variable Independiente (X): Proceso NCD

Variable dependiente (Y): Calidad del efluente tratado (LMP)

3.2 INDICADORES

Indicadores Variable Independiente.

- Características del sistema de tratamiento NCD
- Caudal (l/s)
- Consumo de cal en (gr/l)
- Dosis de neutralización con coagulación dinámica proceso NCD

Indicadores Variable dependiente

- pH
- SST (Sólidos totales suspendidos)
- Zinc (Zn mg/l)

- Plomo (Pb mg/l)
- Cobre (Cu mg/l)
- Hierro (Fe mg/l)
- Arsénico (As mg/l)
- Cianuro Total (CN mg/l)

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 MATERIALES

- ❖ **Trabajo de Gabinete.-** Para el estudio realizado se utilizó: una computadora laptop Toshiba, material bibliográfico, Normas de calidad, trabajos realizados, revistas, tesis, plano topográfico escala 1:10,000 (estación de monitoreo de calidad de agua Cía. Minera Caudalosa), Plano 1 (Anexo), informes de las siguientes instituciones (MEM, SMALLVILL SAC, CONSULTCON SAC), etc.

- ❖ **Trabajo de Campo.-** Para el trabajo de campo, se utilizó balde de 20 litros de capacidad para medir caudal del agua ácida, Aparato de control de pH/ Redox estanco (HANNA), Turbidímetro portátil (HANNA), envases de polietileno de un litro de capacidad, GPS, cámara fotográfica digital, flexómetro de 5 metros, Cooler para conservar las muestras.

- ❖ **Trabajo de Laboratorio.-** Balanza analítica, PH metro de precisión sobremesa, Espectrofotómetro de Absorción atómica, Equipo de muestreo de soluciones. Equipo de agitación magnética, Vasos de precipitación, Pipetas graduadas, Probetas graduadas, Frascos para muestras, Cal, Floculante aniónico Superfloc A-110, floculante aniónico magnafloc 351, aire.

- ❖ **Técnicas de Laboratorio.**- para determinar los parámetros de calidad de agua se utilizaron, técnicas normalizadas para análisis de aguas residuales dadas por: estándar methods for the examination of wáter and wastewater, APHA, AWWA, WEF 21st Ed. 2005.

4.2 METODOLOGÍA

4.2.1 Tipo de investigación

El tipo de investigación es aplicada y el nivel de la investigación es experimental, principalmente en métodos utilizados en campo donde se realizaron estudios de neutralización de las aguas acidas de todas las bocaminas de la Cia. Minera Caudalosa S.A.

4.2.2 Universo

El universo para el presente estudio comprende los efluentes de todas las bocaminas de la Cia. Minera Caudalosa S.A., ubicadas entre la relavera "A" y "C", determinándose la zona de estudio, en función a las coordenadas UTM; con referencia al Río Escalera. Plano 2 (Anexo).

4.2.3 Estudios preliminares

a) Ubicación geográfica de la Unidad de Producción Huachocolpa Uno

La Unidad de Producción Huachocolpa Uno de la Cía. Minera Caudalosa S.A. geográficamente se ubica en el flanco este de la Cordillera Occidental de los Andes Centrales, en el Distrito Minero de Huachocolpa, Provincia y Departamento de Huancavelica.

Sus coordenadas geográficas son:

Longitud Oeste : 74° 53' 43"

Latitud Sur : 13° 03' 52"

Sus coordenadas U.T.M.: E 502,230.550

N 8' 555,752.860

Geológicamente esta Unidad se encuentra emplazada en volcánicos terciarios constituidos por lavas, aglomerados y brechas volcánicos andesíticos pertenecientes a la formación Caudalosa, abarcando parte de los Cuadrángulos de Huancavelica, Huachocolpa, Conayca y Castrovirreyna. Las cotas donde opera la mina están entre 4,280 a 4,800 m.s.n.m. Plano 3 (Anexo)

b) Geología general

c) Accesibilidad

Es accesible desde Lima por medio de tres vías:

TRAYECTO	TIEMPO	DISTANCIA
a) Lima-Huancayo-Huancavelica Paso de Chonta-Mina.	± 15.00 horas	565 Km.
b) Lima- Pisco- Castrovirreyna Paso de Chonta-Mina.	± 10.00 horas	462 Km.
c) Lima-Pisco-Huaytará Rumichaca-Paso de Chonta- Mina.	± 9.00 horas	445 Km.

d) Fisiografía

La unidad de producción Huachocolpa Uno, se encuentra en la parte este de la Cordillera Occidental a

unos 3 y 5 km. al este de la divisoria continental, sobre una geomorfología variada como:

Relieve Cordillerano; presenta una morfología bastante agreste, como lo que se observa al sur oeste de la veta Bienaventurada y alrededores de la veta Rublo, cortadas por numerosas quebradas de recorrido corto con red de drenaje dendrítico. Esta unidad esta modelada sobre secuencias volcánicas que han sufrido un proceso de alteración hidrotermal y que se emplazan en forma de mesetas.

Laderas; son declives que están inmediatos al relieve cordillerano, constituyen los flancos de los diferentes valles con pendiente suave, aunque esta depende de la litología.

Altiplanicie; se emplaza por encima de los 4,300 m.s.n.m. y se caracteriza por presentar relieves suaves que se expresan como pequeñas pampas, colinas y cerros de forma suave como peneplanización.

Mesetas Volcánicas; son superficies sub-horizontales debido a coladas de lavas con pendiente de 5° a 10°, este tipo de geoforma se observa hacia el sur oeste de la mina Chonta.

Valles Fluvio-glaciares; son geoformas de relieve negativo, de tamaños y aspectos variados ocupados por ríos permanentes; siendo característicos en los valles fluviales la forma de "V" que generalmente se considera típico de valles juveniles, en el fondo son planos y están cubiertos por sedimentos clásticos de diversa litología. En las nacientes de los ríos se presenta la morfología de valles glaciares con sus

perfiles típicos en forma de "U", debido a la erosión glacial de los picos altos.

e) Clima y Vegetación

El clima es variado, entre los meses de Abril a Noviembre por la altitud de la zona son fríos, gran parte es de tundra seco de alta montaña. La temperatura media anual tiene como máximo 10 ° C a 15 ° C en los valles y temperatura mínima es de – 5 ° C en las zonas altas.

Las precipitaciones pluviales son estacionales; de Diciembre a Abril son abundantes y están acompañados de fuertes tempestades eléctricas. Durante los meses de Mayo a Setiembre el clima se caracteriza por sequías, fuertes vientos y frecuentes heladas producido por descenso de temperaturas durante la noche.

La vegetación está controlada por el frío y los ciclos de precipitación caracterizado por pastos típicamente de puna, resistentes a las sequías y consisten de ichu (*stipa obtusa*), musgos, líquenes, yaretas y cazorrilla los cuales favorecen a la crianza de ganado auquénido y ovino.

Los agentes atmosféricos tales como el viento, lluvia, nieve, granizo e insolaciones son los que alteran y erosionan las rocas que luego son transportadas y depositadas para formar depósitos aluviales y otras geoformas.

f) Hidrología y Drenaje

En los alrededores de la mina nacen ríos cuyas aguas discurren hacia el Océano Atlántico. Las aguas provenientes de los deshielos y lluvias van a formar riachuelos, corrientes y

luego ríos, siendo su drenaje principal el río Escalera, que aguas abajo toma el nombre de río Opamayo, el cual desemboca en el río Lircay, afluente del río Mantaro.

Por lo general el tipo de drenaje es dendrítico, el cual está controlado por fallas y fracturas que conforman planos de debilitamiento.

g) Recursos Naturales

Dentro de los recursos naturales del distrito, al igual que en el resto de Huancavelica, sobresale el gran potencial minero con sus yacimientos polimetálicos (zinc, plomo, plata, cobre), también es abundante la crianza de ganado ovino y auquénido.

h) Geología local de la Unidad de Producción - Huachocolpa Uno

i) Litología

Afloran rocas de emanaciones volcánicas pertenecientes a la Formación Caudalosa o Formación Domos de Lava del Grupo Huachocolpa, que en 1,973 Donald Noble lo denominó el “**Complejo Volcánico Mixto y Domo volcánico**”, que se emplazan en las unidades volcánicas de los complejos Tinquí (Tm-vt. 10.1 m.a.) y Manchaylla (Ts-vm 9.7 m.a.).

Las rocas consisten principalmente de brechas y lavas andesíticas, dacíticas, riolíticas, porfíricas y andesíticas porfíricas. Las brechas mayormente de composición andesítica, afloran en la parte baja de Caudalosa Chica,

hacia el noroeste de Toromachay y en ambos márgenes del río Escalera.

En el **área cercana a las vetas Silvia y Viviana** se han encontrado 2 pequeñas capas, cuyos fragmentos angulosos se encuentran silicificados; posiblemente sean del mismo origen que las brechas subyacentes. Las lavas andesíticas en el área de Caudalosa Chica tiene un rumbo N 30° - 40° W y las capas son sub - horizontales hacia el sur-oeste y al noreste. Estos rumbos y buzamientos son solo locales ya que corresponden a una estructura dómica mayor.

Las lavas andesíticas afloran predominantemente entre las cotas 4200 y 4450 sobreyaciendo a las brechas volcánicas, son de color gris a verdoso cuando están frescas y blanquecinas cuando están alterados. En estas rocas las estructuras presentan un afloramiento definido y alteración.

En las partes mas altas de Caudalosa Chica a cotas mayores de 4450 m.s.n.m. las lavas son de composición dacíticas, latíticas a riolítica, aquí las estructuras mineralizadas presentan afloramientos muy cortos y angostos, excepto la falla - veta Caudalosa que esta mayormente encapado.

En el **Sector de Bienaventurada** predominantemente son andesitas de color gris-marrón amarillentas con alteración argílica supérgena débil a moderada. Se puede distinguir dos posibles unidades litológicas de vulcanismo; una al noroeste de la veta Bienaventurada, donde los volcánicos andesíticos se presentan con vadeamientos de flujo, de rumbo promedio N 65° W y buzamiento 66°- 70° NE

y hacia el área de la Veta Sur con rumbo N 50°-60° E y 50°NW de buzamiento. Las andesitas presentan alteración supérgena con una coloración pardo - amarillentas.

En interior mina las andesitas son porfiríticas de color gris y blanquecinas cuando están fuertemente alteradas. Una segunda unidad litológica corresponde a derrames sub - horizontales de andesitas marrón amarillentas, las mismas que se reconocen al este y noreste de la veta Bienaventurada; al este, las lavas andesíticas están argilizadas supergénicamente y tienen 1m. a 15m.de potencia, las mismas que tienen rumbos de N 60° E y buzamientos 15° - 25° SE. Las andesitas en algunos casos son porfiríticos con horizontes de aglomerados volcánicos de la misma composición, también hay horizontes de derrames lávicos intercalados con aglomerados en las partes altas. Algunas capas presenta débil diseminación de pirita fina y otras en su matriz tienen fenos de cuarzo. Hacia el NE en la posible continuidad de la veta Bienaventurada, existen intercalaciones de bancos potentes de lavas andesíticas con aglomerados volcánicos grises y en las partes altas al NE, derrames lávicos andesíticos grises de rumbo N 70° E y 10° se de buzamiento.

En el **área de Rublo** se presentan 3 sectores: El primer sector entre las coordenadas 501,150 E hasta las coordenadas 501,720 E, la litología es variable, donde en la parte superior se observa un aglomerado volcánico sobre una latita andesítica porfirítica que da la impresión de ser un sub volcánico.

En el segundo sector entre las coordenadas 500,560 E a 501,150 E donde la estructura esta encapada la litología existente es una andesítica porfirítica de color gris.

En el sector Yen, comprendidos entre las coordenadas 500,200 E a 500,560 E la litología existente es una andesita porfirítica con fuerte alteración argílica, en este sector la estructura se comporta como una típica cola de caballo, bifurcándose en tres ramales. Los rajos existentes indican que ha existido un intenso laboreo.

En el **área de Chonta** afloran rocas consistentes de lavas y brechas de composición andesítica de color gris; en la parte alta se presentan derrames de lava, brechas tufáceas de color gris blanquecino. Litológicamente se las puede dividir en tres unidades:

- A) Brechas volcánicas;** que afloran principalmente al oeste y en la parte baja del área, consiste de brechas de color gris verdoso violáceo conteniendo fragmentos angulosos a sub-redondeados de hasta 15cm. de diámetro. Son de composición latítica a andesítica, la superficie presenta una topografía aborregada.

- B) Volcánicos de composición andesítica a traquita;** hacia el oeste se presenta de color gris violáceo débilmente alteradas y están cubriendo a las brechas de la misma composición a pequeños apófisis de intrusivos hipabisales de andesita textura porfirítica y de color gris

violáceo a verdoso afloran al oeste de Chonta, presentando débil cloritización.

El fracturamiento pre-mineral no es pronunciado por lo que las vetas se presentan angostas cuando atraviesan las lavas; igualmente en superficie no se observa una alteración hidrotermal. La tercera corresponde a niveles de:

- C) **Tufos brechas y flujos de lava;** que se presentan en la parte superior y al norte de Chonta, cubriendo a los anteriores flujos de lava y brechas tifáceas de color gris-blanquecinos, presentándose en tramos caolínizado. Son de composición andesítica, aparentemente no han favorecido al fracturamiento ya que muy pocas estructuras mineralizadas se observan dentro de esta secuencia volcánica; se presentan en capas con buzamientos de 35° SE a veces intercalado con capas de lavas andesíticas - latítica, lo que indicaría que son flujos provenientes del centro volcánico Tinquí, su topografía es suave.

En el **área de Poderosa** afloran lavas, brechas, brechas tufáceos de color gris, gris verdosa a violáceos de composición andesítica con alteración propílica, moderada argilización y diseminado de pirita. Estas rocas indican que son provenientes del centro volcánico Tinquí. Cuadro 4.1

Cuadro 4.1. Cuadro Paramagnético Cia Minera Caudalosa S.A

CUADRO PARAGENÉTICO VETA BIENAVENTURADA			
	1 CICLO	2 CICLO	
CUARZO	-----	- -	
PIRITA	-----	- - -	
ESFALERITA	-----		
CALCOPIRITA	-----		
COBRE GRIS	-----	-----	
GALENA	-----		
BARITINA	-----		
BOURNONITA	-----		
SELIGMANNITA	-----		
GRATONITA	-----	-----	
JORDANITA	-----		
DUFRENOYSITA		-----	
ESTIBINA		-----	
REJALGAR	-----		
OROPIMENTE	-----		
MELNIFOVITA			-----
ANGLESITA			-----
YESO			-----
HEMATITA			-----
LIMS			-----

MAYOR TEMPERATURA INICIAL \longrightarrow MENOR TEMPERATURA FINAL

Fuente: Cia. Minera Caudalosa S.A 2006

j) Mineralización

La mineralización está representada por menas y gangas.

Los minerales de mena; que se aprecian macroscópicamente son: esfalerita (sf), galena (gn), galena argentífera (gn. arg), cobre gris de la variedad freibergita (fb) y tetraedrita (td), calcopirita (cpy), enargita (en). La variedad de la esfalerita que se observa es la blenda rubia y marmatita.

Los minerales de ganga son: cuarzo (qz), pirita (py), rejalgar (re), oropimente (orp), rodrocrosita (rdc), rodonita (rdn), baritina (ba), estibina (stb), yeso (ye).

Los estudios mineragráficos del Dr. J. Injoque E (Junio 1,987), realizados en muestras de diferentes vetas de la mina Caudalosa Chica, revelan la presencia de otros minerales aunque estos son escasos. De acuerdo con estos estudios la secuencia paragenética generalizada es la siguiente:

- 1.- Cuarzo
- 2.- Pirita - arsenopirita - calcopirita - esfalerita I
- 3.- Esfalerita II - calcopirita II - cobre gris - luzonita.
- 4.- Calcopirita III - bismutinita - bornita - galena - boulangierita – bournonita - cobre gris II - pirita II
- 5.- Melnicovita - marcasita - covelita - carbonatos.

El cobre gris es abundante en los niveles superiores (Nv. 4635 y Nv. 4680) de las vetas Caudalosa 1 y Caudalosa 2, en la veta Bienaventurada en los niveles 4605 , nivel 4518 y en todo los niveles del lado oeste, donde las leyes de Ag. son mayores de 10 Oz/T.M. Además en las vetas Caudalosa 1 y Caudalosa 2 son notables la presencia de luzonita.

En el sector de Caudalosa los valores de Ag, Pb y Zn se mantienen casi constantes, llegando a tener sus máximos valores en los niveles superiores, para luego bajar considerablemente en los niveles inferiores (Nv. 4405, Nv 4340 mina Caudalosa). La estimación de Au. en la veta Caudalosa 2 reporta de 0.40 a 0.60 gr/T.M. (

Lab. Alex Stewart del Perú S.A.). Los estudios de Paragénesis y Zonamiento de la Veta Bienaventurada realizados por el Ing. José Andrés Iparraguirre indica que la mineralización se dio en dos secuencias paragenéticas:

En la primera secuencia, la pirita fue el primer mineral depositado en estructura, seguido por la esfalerita, calcopirita, cobre gris (freibergita, tennantita), galena, bournonita, seligmanita, gratonita y barita; algo mas tarde rejalgar y oropimente.

La segunda secuencia esta constituida esencialmente por pirita, argentotennantita, breibergita, dufrenoyita, estibina y jordanita. Los minerales de ambas secuencias se presentan en texturas de relleno y reemplazamiento.

Finalmente, se observa una secuencia de minerales supérgenos constituidas por melnikovita, anglesita, yeso, hematina y limonita.

En la veta Bienaventurada es notorio un zonamiento vertical, los valores de cobre y zinc predominan en partes altas del lado oeste, en profundidad el plomo aumente, también hay un aumento relativo de plata en profundidad.

Las minas Chonta, Rublo, Bienaventurada por los resultados de ensayos son minas de zinc, plomo, cobre; con valores en plata en los niveles superiores y al oeste de la veta Bienaventurada.

En los niveles superiores de las veta de las Bienaventurada, Tatiana, Sur Uno, Sur-4, Marisol, Rublo, San Pedro, la mineralización va asociada a abundante oropimente y rejalgas, lo que nos confirma que estas son depósitos hidrotermales de tipo filoniano. Al oeste de la veta Bienaventurada hay emanación de ácido sulfídrico que es un gas producto de la sublimación volcánica que se siente por su olor fétido característico, también; observa presencia de azufre nativo (Gal.416-W, Tj.384W). En el nivel 4480 al lado este (Gal. 836-E) hay fuerte emanación de CO₂.

4.3 MUESTREO DE LOS EFLUENTES ÁCIDOS

Durante el muestreo realizado en los meses de Octubre del 2008 a Setiembre del 2009 se tomaron las muestras en 10 estaciones de monitoreo y en la poza de regulación ver Fig. 4.1 (Apéndice), dichas muestras se acondicionaron de la siguiente manera: almacenamiento (dependiendo del parámetro sujeto al análisis), conservación, etiquetado, embalaje y transporte. Un adecuado muestreo es sumamente importante para garantizar la representatividad de las muestras distinguiéndose las siguientes actividades:

A. Actividades de Pre- Muestreo

A.1. Equipos e Instrumentos

Los equipos e instrumentos de medición in situ cumplieron con las normas establecidas en el protocolo de monitoreo de calidad de agua para efluentes mineros metalúrgicos, el cual establece que estos deben encontrarse limpios y calibrados antes de ir a campo y quedar en las mismas condiciones al final del trabajo.

Equipos utilizados

- Potenciómetro (medidor de T° y pH) marca HANNA
- Turbidímetro portátil HANNA
- Cooler para refrigerar la muestra.

A.2. Tipos de Recipientes de Muestreo

Los envases utilizados para la toma de muestra y su posterior análisis fueron proporcionados por el laboratorio de la Cia. Minera Caudalosa S.A. Estos envases fueron previamente esterilizados, sellados y etiquetados por el laboratorio en mención.

Para la realización del programa de monitoreo se utilizaron (los siguientes envases:)

- 24 unidades de botellas de polietileno de 1L.

A.3. Volumen de Muestra

Se recolecto de 1 a 2 L para la realización del análisis por metales disueltos, de 0,5 a 1 L para el análisis de sólidos totales en suspensión y 1L para análisis de cianuro total. En este punto, debido a las características de los efluentes ácidos, se tomó muestras cada fin de semana; es decir, 4 muestreos por mes, desde las 9 a.m. hasta las 2 p.m. según programa de monitoreo dentro de la unidad minera.

A.4. Preservantes Químicos y Soluciones de Calibración

Según el programa de monitoreo, las muestras para ser transportadas al laboratorio, fueron preservadas adecuadamente a fin de mantener las condiciones físicas;

químicas del efluente, garantizando de este modo la veracidad de los resultados, por lo cual en algunos envases se agregó un producto químico (HNO_3 y NaOH) como preservante y conservarlo en un ambiente frío (Cooler).

Para el caso de los equipos, estos fueron previamente calibrados antes de realizar las mediciones.

A.5. Tiempo Máximo de Almacenamiento

El análisis inmediato constituye la mejor forma de reducir el margen de error, por ello se estableció que durante el muestreo se tiene que preservar y acondicionar a temperaturas menores de 4 °C (refrigerar en el cooler) para ser llevados posteriormente al Laboratorio de la Cía. Minera caudalosa S.A.

En el **Cuadro 1.A** se presenta los criterios de recolección, preservación y almacenamiento para cada parámetro seleccionado.

Cuadro 1.A.- Criterios para Recolección, Preservación y Almacenamiento

Parámetros Físico-Químicos	Volumen Mínimo	Recipiente	Preservación	Tiempo de almacenamiento
pH	100 ml	P o V	-	Inmediato
Temperatura	250 ml	P o V	-	Inmediato
Conductividad	1000 ml	P o V	-	Inmediato
TSS	1000 ml	P o V	-	2 – 7 días
Metales disueltos	1000 ml	P o V	HNO_3 a $\text{pH} < 2$	6 meses
Cianuro total	1000 m	P	NaOH a $\text{pH} > 12$, 4°C	1 -14 días

Fuente: Protocolo de Monitoreo Efluentes Líquidos - MITINCI

P = Polietileno.

V= Vidrio

A.6. Materiales de Apoyo para el Muestreo

Para realizar la toma de muestras y las mediciones de parámetros in situ se contaron con los siguientes materiales:

- 1 flexometro de 5 metros
- 1 Balde de plástico de 5 L
- 1 Balde de plástico de 20 L
- 24 Botellas de polietileno plásticas de 1L
- Cadena de custodia.

A.7. Equipo de Seguridad para el Muestreo

En la toma de muestras se contaron con los implementos de seguridad, para evitar tener contacto directo con la muestra y los productos químicos. Entre ellos:

- 1 pieza de mameluco térmico
- 1 Chaleco color naranja
- 2 mascarillas desechables
- 6 Unidades de guantes quirúrgicos desechables.

B. Actividades de Muestreo y Recolección de la Muestra

B.1. Toma de Muestra

Las muestras para el análisis fueron tomadas a caudal máximo, durante el muestreo, se recolecto en un recipiente de 5 L con tomas parciales de 1 L cada frasco.

B.2. Rotulado de las Muestras

Los recipientes de las muestras fueron rotulados correctamente registrando en las etiquetas la siguiente información antes de ser enviada al laboratorio para su análisis respectivo:

- Procedencia de la Muestra
- Nombre de la Fuente
- Punto de Muestreo
- Código de la Muestra
- Fecha de Muestreo
- Hora de la toma de muestra
- Técnica de preservación.
- Responsable del Muestreo

B.3 Conservación y Preservación de la Muestra

La conservación y preservación de las muestras se efectuaron de acuerdo a lo indicado en el **Cuadro 1.A**, donde los envases se preservaron de acuerdo al tipo de análisis que le corresponde, asimismo dichas muestras se refrigeraron a 4°C.

B.4. Transporte y Almacenamiento

Para el transporte de los envases se utilizaron cajas térmicas aislantes (Cooler), que ayudaron a la preservación de las muestras hasta llegar al laboratorio.

B.5. Precauciones durante el Muestreo

Cuando se prepararon los preservantes y durante el manejo de las muestras, se tuvo cuidado con el manejo de los reactivos (HNO_3 , NaOH), que son altamente tóxicos y corrosivos.

B.6. Mediciones in Situ

Estas mediciones se realizaron al momento que se tomo las muestras. En este caso se realizaron mediciones in Situ del Potencial Hidrógeno (pH), Temperatura y Conductividad eléctrica utilizándose el Potenciómetro Marca HANNA.

C. Actividades Post-muestreo

C.1. Calibración de Equipos

Se verifica que los equipos tengan la calibración establecida.

C.2. Análisis Químicos

En los métodos de análisis que se selecciono para la caracterización de los efluentes se considero: límites de sensibilidad, detección y selectividad en los análisis; requisitos de exactitud y precisión.

C.3. Garantía de Calidad

El laboratorio de la Cia Minera Caudalosa S.A al igual que uno de servicios externos ha de ser reconocido por su confiabilidad en sus resultados.

En el **Cuadro 1.B**, se muestran los métodos estándares que el laboratorio a utilizado, los cuales están de acuerdo a lo establecido en el Protocolo de Monitoreo Efluentes Líquidos.

Cuadro 1.B.- Metodología y Equipos para Monitoreo de Efluentes Líquidos

Parámetros	Norma EPA	ESTANDAR METHODS APHA	Métodos	Equipos	Unidades
PH	150.1	4500-H' -B	Electrométrico	Potenciómetro	-
Temperatura	170.1	2550-B	Termométrico	Termómetro	°C
Conductividad	120,1	2510-B	conductancia	Conductímetro	us/cm2
SST	-	2540-D	TOTAL SUSPENDEED SOLIDOS DRIED AT 103-105° C.		mg/l
Caudal	-	-	Volumétrico,	Cubo, Cronometro	l/s
Metales disueltos	200,7	3500 B/C	Electrométrico	Absorción atómica	mg/l
Cianuro Total	335.2	4500-CN	Electrométrico	Titrimetric Spectrophotometric)	mg/l

Fuente: Métodos Analíticos Laboratorio Corplab Del Perú S.A.C.

4.5. DETERMINACIÓN DEL CAUDAL.-

Se determino el caudal de agua acida volumétricamente en los diferentes puntos de monitoreo así como en la poza de regulación, Si bien sabemos que no podemos variar este factor por que en ciertas temporadas el caudal se encuentra en 45 l/s, hay otras en la cual el caudal sobrepasa los 60 l/s pero eso no es obstáculo alguno para el proceso pues solo se hará un escalamiento de cada uno de los factores de acuerdo al caudal que se esté tratando en el momento. Para nuestra operación en la planta NCD se

ha registrado un caudal promedio anual de 40 l/s después que sale de la poza de regulación.

4.6 DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DEL PROCESO

- La Neutralización de las aguas acidas, se realizo con lechada de cal con dosificaciones al 5% y 10% w/w con diferentes tiempos de agitación.

Vol. Lecha Cal 10% w/w	Tiempo de agitación	pH Inicial	pH Final
5.0 ml	5min	2.30	3.71
10.0 ml	5min	3.71	5.24
15.0 ml	5min	5.24	8.95
20.0 ml	5min	8.95	10.85

- Las pruebas de dosificación al 10%, se realizaron agregando lechada de cal según como se muestra en la tabla.

4.7 POTENCIAL NEUTRALIZANTE (en Kg CaCO₃/TM) DE VARIOS RELAVES DE FLOTACIÓN

Relave	Yauricocha	Caudalosa	Casapalca	Cobriza	San Vicente
Potencial Neutraliza nte	258	90	105	65	903

Se observa que el Potencial Neutralizante de los relaves varía de tan poco como 65 hasta 903 Kg. CaCO₃/TM, dependiendo del contenido de carbonatos. Un relave como el de San Vicente equivale a una caliza con una pureza del 90.3% de CaCO₃, mientras que el relave de Casapalca equivale a una caliza con una pureza de solo 1.1 % de CaCO₃. Las características

geoquímicas de los relaves dependen de la Geología de cada yacimiento. Fig. 4.2 (Apéndice).

4.7 CONCENTRACIÓN DE FLOCULANTE

El floculante que se adiciona en el tratamiento de las aguas acidas para la sedimentación esta al 0.15% w/w, esto quiere decir que se tiene que agregar 1.5 gr de floculante aniónico por un litro de agua.

4.8 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO NCD A NIVEL DE PLANTA

4.8.1 Conducción de los efluentes ácidos

Se ha instalado una red de tuberías de conducción desde cada punto de afluencia hacia una tubería de colección principal. Fig. 4.3 (Apéndice)

Las tuberías de conducción han sido dimensionadas de acuerdo con el caudal máximo del efluente puntual, corregido por un factor de seguridad para absolver eventualidades de incrementos de caudal no previsto (filtraciones o discurrencia lateral).

La tubería principal de colección, está instalada longitudinalmente y aproximadamente paralelo al cauce del río Escalera, de modo que permita la conexión ramificada de todas las tuberías de conducción puntual (similar a una red de desagüe doméstico), orientada hacia la planta de tratamiento y dimensionada de acuerdo con el caudal de efluentes acumulado por tramos de máxima longitud de 500m.

En cada punto de encuentro y conexión de tuberías de conducción con la de colección principal, se ha construido un

buzón de inspección y mantenimiento, construido de concreto de calidad resistente al ataque de aguas ácidas.

En general, tanto para las tuberías de conducción como la de colección principal, se ha seleccionado materiales geosintéticos de alta calidad y resistencia (materiales HDPE). Los diámetros varían desde 4" interior en los tramos iniciales hasta 14" en el tramo de llegada a la planta de tratamiento de efluentes ácidos y sólidos en suspensión, la cual se ubica en Planta Concentradora, del complejo minero Caudalosa. Todas las tuberías de la red, se instalaron en zanja excavada a la profundidad necesaria para tener una cobertura de protección de 0.40m de altura mínima. Plano 4 (Anexo).

Para la conducción de la poza N°-01 hacia la planta NCD, se cuenta con una tubería de conducción esta posee una válvula de Acero Inoxidable de 10" de diámetro para la regulación del ingreso de agua acida a la planta. La tubería de conducción es de HDPE PN-16 (230 psi), 10" de diámetro, emplazada Lateralmente a 1.5 m por encima del fondo de la poza N°-01. Es necesario mencionar que el caso de limpieza tanto de la poza N°- 01, así como las demás pozas de almacenamiento en los puntos de captación, se utiliza una bomba sumergible para evacuar los lodos depositados en el fondo de la poza. La tubería de conducción cuya longitud es de 54 m, llega hasta el punto de descarga en la Planta que es el tanque A de premezcla. La pendiente del eje de la tubería es de 1%.

4.8.2 Almacenamiento de los efluentes ácidos

Es la primera etapa del tratamiento de los diversos efluentes ácidos existentes en la U.E.A. Huachocolpa Uno, así como también del efluente que contiene cromo proveniente de la

planta concentradora, son almacenados en la Poza N°1 (Captación- Regulación), está cubierta con geomembrana de HDPE (e = 1mm) y tienen una capacidad de almacenamiento total de 720 m³.

Para la captación de los efluentes ácidos provenientes de la filtración de la parte baja de la relavera, generados por el desmonte colocado como sostenimiento de esta, se ha construido un canal de colección cubierto con geomembrana, además de dos pozas una de colección y otra de almacenamiento, para su bombeo final hacia la poza de almacenamiento de la planta NCD (Poza N°1). Este almacenamiento permite uniformizar tanto el caudal como el pH y concentración de metales por precipitar, como quiera que los efluentes que confluyen en él pueden tener pH tan disímiles como 2.3 y 5.6; se facilita de este modo el control de la alimentación de relave (coagulante), cal y floculante, además garantiza una operación eficiente en términos de costo y resultados (pH, concentración de metales, sólidos suspendidos). Es necesario mencionar que ya en esta etapa se está disminuyendo el cromo del efluente proveniente de la planta concentradora por dilución, además de que ocurre la reducción de Cr 6+ a Cr3+. Fig.4.4 (Apéndice).

4.8.3 Dosificación de reactivos

Lechada de Cal

El tanque agitador de 6' x 6', utilizado para preparar la cal en forma de lechada tiene un volumen útil de 3660 litros aproximadamente. Este tanque agitador es de fierro y gira accionado por un motor Delcrosa de 10 Hp; tiene un tubo de

descarga de 1" diámetro controlado con una válvula de bronce también de 1" diámetro.

El abastecimiento de cal es proporcionado por la Planta Concentradora a través de una tubería de conducción. La concentración de la lechada de cal, en el TK 6'X6', es de 10% w/w; sin embargo puede emplearse cualquier otra concentración que no exceda la mencionada, siempre y cuando se mantenga fija durante la operación. Se arranca el Tanque agitador y se mantiene operando durante 20 minutos, antes de proceder a alimentarlo al circuito de neutralización.

Para mantener la continuidad de la operación, cuando la solución ocupe la mitad del volumen del Tanque agitador, se tiene un tanque agitador de 3'x3', de apoyo es decir proveerá de cal al circuito mientras se realice la preparación en el tanque de 6' x 6'.

La preparación de cal se llevará a cabo 4 veces por día, vale decir 2 por guardia, para el volumen del tanque de 6'x 6' se deben adicionar 24 sacos, es importante señalar que la preparación se debe realizar adicionando primero agua al tanque y luego la cal.

Para regular la alimentación de la lechada se toma una muestra de 10 litros de la mezcla agua ácida/relave fino y una muestra de 0.5 litros de lechada de Cal, y se adiciona esta última en forma gradual usando una probeta de 1000 ml, hasta que el agua ácida alcance el pH objetivo (en este caso 9.0). La medición del pH para este propósito se determina con un pH metro digital correctamente calibrado.

El tipo de pH metro es simple., se emplea un pH metro para el rango ácido y otro para el rango alcalino, esta operación se realiza diariamente, al inicio del tratamiento, en vista de que la acidez y caudal de los efluentes no es constante. Una vez graduada ambos parámetros, la alimentación del agua ácida y de lechada de Cal, la Planta opera sin contratiempos.

En el cuadro C.1 se observa la cantidad de lecha de cal a usar en la neutralización del agua acida.

Cuadro C.1 Cantidad de lecha de cal que ingresa a la planta NCD

Lechada de Cal:	
0.35	l/s
70	gr/l.
30240	l/Día
2.527	tn/Día
1.01	Agua l/s

Relave Fino

El relave es captado del canal que llega a la casa bomba, para la clasificación de este se usa el mismo circuito usado para la relavera.

El Over Flow del Hidrociclon (Relave fino) es enviado al tanque A de pre Mezcla.

Un caudal promedio de 7 l/s que apoya en la neutralización y coagulación dinámica del agua acida.

El Under Flow del Hidrociclon se enviará hacia la relavera, para este propósito de clasificación se ha colocado dos cajas separadas por una compuerta., por lo que se utiliza un caudal

de de 7 l/s para la planta NCD. En el cuadro C.2 se observa la cantidad de relave a usar en la NCD.

Cuadro C.2 Cantidad de relave fino que ingresa a la planta NCD

O/F Nido	
Dp: gr/cc.	1070
Q: l/s	7
gr/lt.	150.1
tn/Día	181.56
Agua l/s	5.75

Floculante

El floculante es proporcionado por la Planta Concentrado a través de una línea que llega hasta el tanque 3'x3'. El floculante recomendado es el Superfloc A-110, pero se utiliza otro floculante aniónico que ofrece rendimientos similares y un costo más conveniente. El floculante aniónico Magnafloc 6545. El tanque agitador asignado para almacenar este reactivo es de 3' x 3', un volumen útil de 460 litros y accionado por un motor WEG, trifásico de 3 Hp. Y esta se adiciona en el sedimentador 100ml/s. En el cuadro C.3 se observa la cantidad de floculante a usar en la NCD.

Cuadro C.3 Cantidad de floculante que ingresa a la planta NCD

Floculante	
0.1	l/s
7	gr/l.
8640	l/Día
1.40	Agua l/s

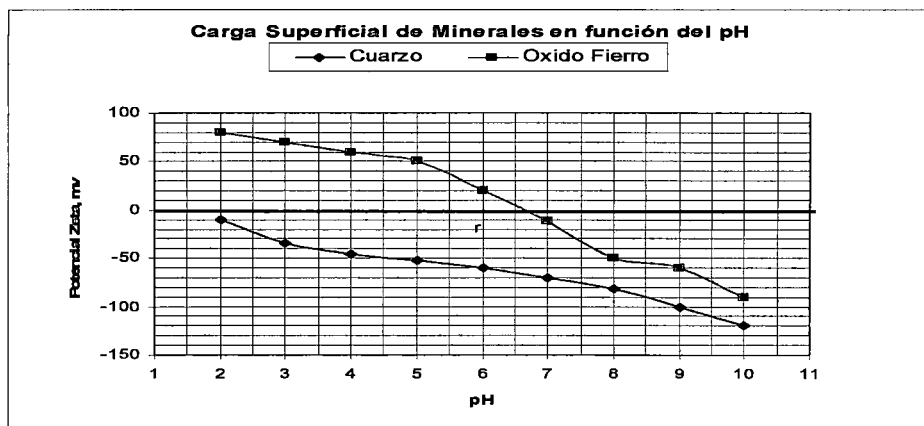
4.8.4 Neutralización del agua acida y coagulación dinámica

El agua ácida impulsada por gravedad se descarga en el tanque A (3' x 3') de premezcla junto con el Over Flow del Hidrociclón (Relave fino); este Tanque A tiene un volumen útil de 460 Lts. Para el caudal máximo de 40 l/s, el tiempo de premezcla es alrededor de 7 segundos, al cabo del cual la mezcla ya ha alcanzado un pH por encima de 4 protegiendo a los Tanques agitadores de Coagulación y Neutralización de 8' x 8' de la corrosión. El tanque A descarga al Tanque agitador TK-01 de 8' x 8' mediante una tubería de 10" de diámetro, aquí se realizará la mezcla entre el agua acida y el relave fino, (coagulación) durante 2 minutos (para un caudal de 40 l/s); la aireación es promovida por la misma agitación. A la salida del Tanque agitador TK -01 (caja de descarga) adiciona la cal a través de una tubería de 1" de diámetro proveniente del tanque de 6' x 6'. La descarga del Tk-01 es conducida al Tanque Agitador Tk-02 de 8' x 8' mediante una tubería de 10" de diámetro, es aquí donde se realiza la reacción principal de neutralización de ácido libre y precipitación de gran parte de metales disueltos, el tiempo de reacción es de 2 minutos, con lo cual aseguramos la neutralización y la coagulación con el relave fino. La salida del Tk-02 es conducida al tanque agitador Tk - 03, de 8' x 8' con una tubería de 10" de diámetro, el tiempo de retención de 2 minutos, permitirá precipitar los metales existentes además de regular el pH final del agua ya tratada (pH= 9.0). La pulpa neutralizada y coagulada es conducida al tanque B (3' x 3') mediante una tubería de 10" de diámetro, a la salida de este se le adiciona el floculante desde el tanque 3'x3' mediante una tubería de 1" de diámetro. La calidad del efluente se controla con el pH del mismo en el punto de descarga del Tanque Agitador de TK-03. El pH objetivo para cumplir con los LMP de efluentes mineros es 9.0.

Los tanques 1, 2 y 3, cuentan con un sistema forzada tipo “downcomer” que no permite que el agua ácida se descargue sin mezclarse con el relave fino (over flow) y viceversa. Cuadro C.1

Cuadro C.1. Pruebas de neutralización y coagulación dinámica (NCD)

pH	Cuarzo	Oxido Fierro
2	-10	80
3	-35	70
4	-46	60
5	-52	50
6	-60	20
7	-70	-12
8	-82	-50
9	-100	-60
10	-120	-90



Fuente: Propia

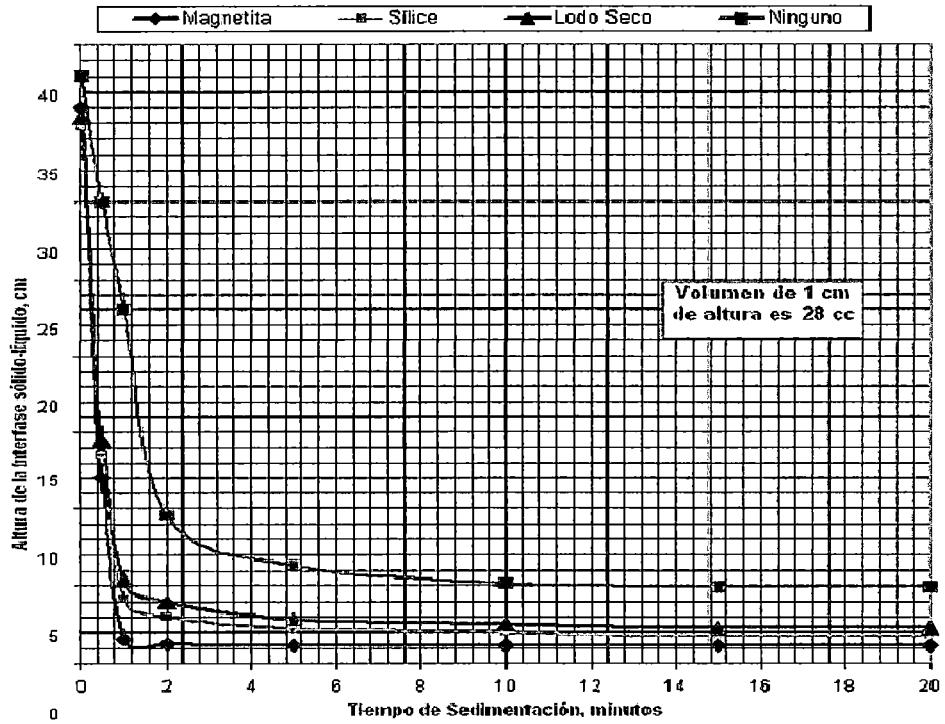
4.8.5 Sedimentación y evacuación del agua tratada

A la salida del tanque B se ha colocado un canal de floculación donde se mezclan la pulpa neutralizada y coagulada

con el floculante, el diseño de este canal permite formación de flóculos en la pulpa. Este canal conduce la pulpa hacia una poza de 10 metros de largo por 5 metros de ancho y una altura de 2 metros, el efluente ya tratado se envía por bombeo hacia la cacha de relaves, utilizando una bomba de 4" x 48 Galigher como aun falta implementar la segunda etapa de la planta NCD, el depósito de relaves sirve de clarificador donde se lleva a cabo la sedimentación de los metales precipitados, y para eliminar en un 95% los sólidos totales en suspensión se adiciona nuevamente en la tubería de descarga floculante, El tiempo de retención en la presa de relaves es de 4 horas. Luego de este tiempo el agua ya clarificada pasa por la chimenea a la poza de clarificación en la parte baja de la cancha de relaves que tiene un tiempo de retención de 30 minutos, logrando así obtener un efluente que cumple con los LMP establecidos por el Ministerio de Energía y Minas. Finalmente el agua ya tratada es descargada al canal que a su vez descarga al Río Escalera. Cuadro C.2

Cuadro C.2. Sedimentación de precipitados de neutralización del efluente de la Cia Minera Caudalosa SA., empleando diferentes coagulantes

t(min)	Magnetita	Sílice	Lodo Seco	Ninguno
0.0	36.0	34.8	35.3	38.0
0.5	12.0	13.5	14.5	30.0
1.0	1.5	4.1	5.3	23.0
2.0	1.3	3.0	4.0	9.5
5.0	1.1	2.2	2.8	6.3
10.0	1.1	2.0	2.5	5.2
15.0	1.1	1.8	2.3	5.0
20.0	1.1	1.8	2.3	4.9



Fuente: Propia

4.8.6 Disposición de los lodos sedimentados

La descarga de lodos es conducido a la casa bombas para que luego se envíe a la relavera de operación, a través de una tubería de 4 pulg. De diámetro, cabe mencionar que estos lodos pueden ser utilizados como relleno de mina, en el cierre final de la U.E.A. Huachocolpa Uno.

Tiempo de neutralización.- el tiempo de Neutralización tanto en pruebas como en el pilotaje resulto ser de 6 minutos, se hicieron pruebas a diferentes tiempos y los resultados se pueden verificar en el siguiente cuadro C.3

Cuadro C.3. Tiempo de neutralización

Prueba	pH Final	Condiciones	Mn*	Zn*
Original	3.47		41.3	23.0
NC/5min	9,5	Neutralización normal	0,8	<0,1
NC/10min	9,5	Neutralización normal	0,9	<0,1
NC/15min	9,4	Neutralización normal	0,8	<0,1

LMP para el efluente tratado de Cia. Minera

Caudalosa SA **3.0** **1.0**

* Concentración en mg/l

Fuente: Propia

Tiempo de oxidación.- según las pruebas realizadas en Cia. Minera Caudalosa el tiempo de Oxidación que se le dio a todas las pruebas es de 12 minutos así que se adopta esta como la óptima. Cuadro C.4

Cuadro C.4. Concentración de oxígeno

PRUEBA	pH		OXIDANTE ETAPA 2	Mn mg/l
	ETAPA 1	ETAPA 2		
OX-1	9.0	9.0	Aire	12.8
OX-2	9.5	9.5	Aire	5.0
OX-3	10.0	10.0	Aire	0.9
OX-4	10.5	10.5	Aire	0.6
OX-5	9.0	9.0	Oxígeno	11.1
OX-6	9.5	9.5	Oxígeno	1.6
OX-7	10.0	10.0	Oxígeno	0.8
OX-8	10.5	10.5	Oxígeno	0.2

LMP, efluente tratado de la Cia Minera

Caudalosa

3.0

La primera etapa se realiza sin aireación durante 5 minutos y en la segunda etapa se insufla aire u oxígeno, también durante 5 minutos

Fuente: Propia

Tiempo de coagulación.- Como el relave actúa como agente coagulante, se adicionara al final de la neutralización y solo se le dará un tiempo de acondicionamiento de 10 segundos, para precipitar junto con los coloides adsorbidos.

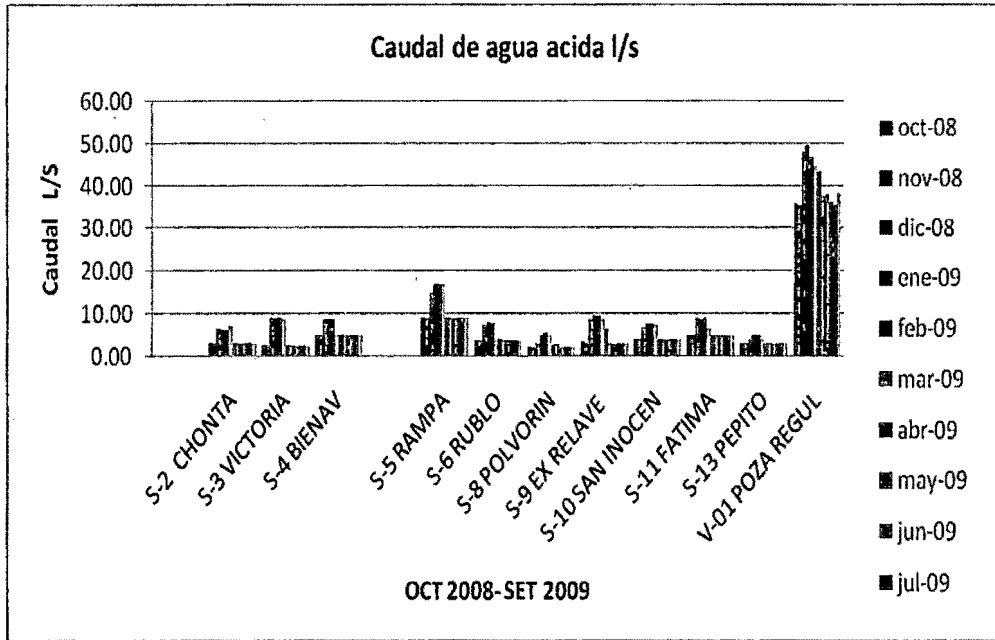
Concentración de relave fino.- Esto dependerá del método en el que se adicione el relave, por un lado el relave se puede adicionar tal y como está sin clasificación previa, pero también hay la posibilidad de adicionarlo después de haberlo clasificado, solo se agregaría los finos de relave pues se ha demostrado que el relave fino además de ser coagulante tiene un poder Neutralizante, así que de emplear relave sin clasificar la concentración de finos seria de 37.9%.

CAPÍTULO V RESULTADOS

5.2. CARACTERIZACIÓN DE LOS EFLUENTES ANTES DEL TRATAMIENTO

En el Grafico 5.1^s Se tiene la evaluación sobre la medición de caudal de las aguas acidas en los 10 puntos de monitoreo y la poza de regulación realizados en los meses de Octubre del 2008 a Setiembre del 2009. En dicho monitoreo el caudal de agua para los efluentes se mantiene casi constante en todos los puntos de monitoreo, a excepción del punto V-01 donde se observa un incremento de caudal por encima de 40 l/s y el punto S-5 donde se observa un caudal por encima de 15 l/s, por las constantes operaciones de la mina rampa.

Grafico 5.1 Caudal de agua ácida



En el cuadro 5.1 podemos observar el registro del caudal de agua ácida realizado durante el monitoreo en los meses de Octubre del 2008 a Setiembre del 2009.

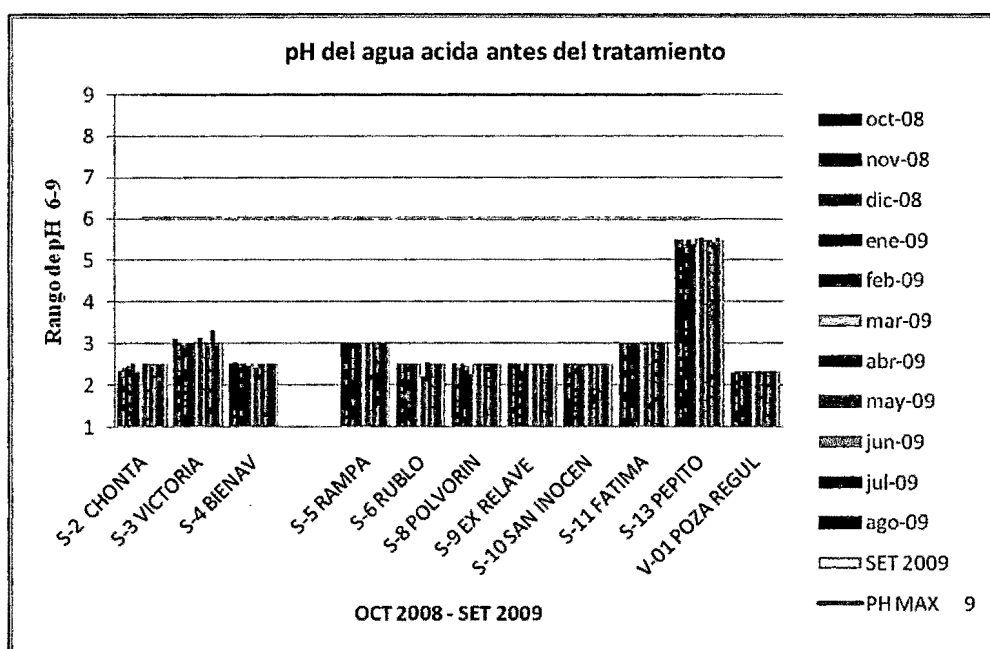
CUADRO Nº 5.1
CAUDAL DEL EFLUENTE ACIDO
ANTES DEL TRATAMIENTO OCTUBRE DEL 2008 A SETIEMBRE DEL 2009

PUNTOS MONITOREO	COORDENADAS		ALTURA	CAUDAL l/s												OBSERVACIONES
	ESTE	NORTE	MSNM	OCT 2008	NO V20 08	DIC 2008	ENE 200 9	FEB 2009	MAR 2009	ABR 2009	MAY 2009	JUN 2009	JUL 200 9	AGO 2009	SET 2009	
S-2	500,408.48	8,554,229.50	4569	3.0	3.0	6.5	6.0	6.0	7.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	Bocamina Chonta
S-3	501,236.41	8,554,776.10	4499	2.5	2.5	9.0	9.0	9.0	8.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	Bocamina Victoria
S-4	502,188.34	8,554,606.56	4498	5.0	5.0	8.5	8.5	8.5	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	Bocamina Bienaventurada
S-5	501,749.50	8,555,186.15	4400	9.0	9.0	15.0	16.8	16.7	16.8	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	Bocamina Rampa
S-6	501,913.07	8,555,186.15	4473	3.5	3.5	7.5	7.9	7.8	3.7	3.8	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	Bocamina Rublo
S-8	502,228.61	8,555,755.27	4490	2.0	2.0	3.0	4.8	5.5	5.0	2.8	2.7	2.0	2.0	2.0	2.0	Bocamina Polvorín
S-9	501,741.75	8,555,719.40	4442	3.2	3.0	8.6	9.45	9.45	8.5	6.3	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	Bocamina San Inocente
S-10	501,833.25	8,555,822.65	4438	4.0	4.0	6.7	7.8	7.8	7.5	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	Ex Relavera Rublo
S-11	501,794.08	8,556,353.70	4374	5.0	5.0	8.9	8.5	8.8	6.5	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	Bocamina Fátima
S-13	501,220.75	8,556,205.80	4429	3.0	3.0	4.0	5.0	5.0	4.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	Bocamina Pepito
V-01	501609.231	8556191.164	4338.95	35.7	35.5	48	49.5	46.7	44.5	43.3	37.8	38.0	36.0	35.4	38.3	Efluente Poza de Regulación Planta NCD

Fuente: Propia

En el Grafico 5.2 se muestra las características de los efluentes ácidos, con relación al potencial de hidrogeno en los 10 puntos de monitoreo y la poza de regulación, estos resultados obtenidos durante los monitoreos realizados desde Octubre del 2008 a setiembre del 2009 no cumplen con los LMP de la RM N° 011-96-EM/VMM, en la resolución se indica que el pH debe estar en el rango de 6 – 9, el pH de la bocamina S-13 pepito está por encima de 5 y en los demás puntos no pasa de 3 de pH como se observa en el grafico.

Grafico 5.2 Potencial de hidrogeno



En el cuadro 5.2 podemos observar el registro del pH de agua acida realizado durante el monitoreo en los meses de Octubre del 2008 a Setiembre del 2009

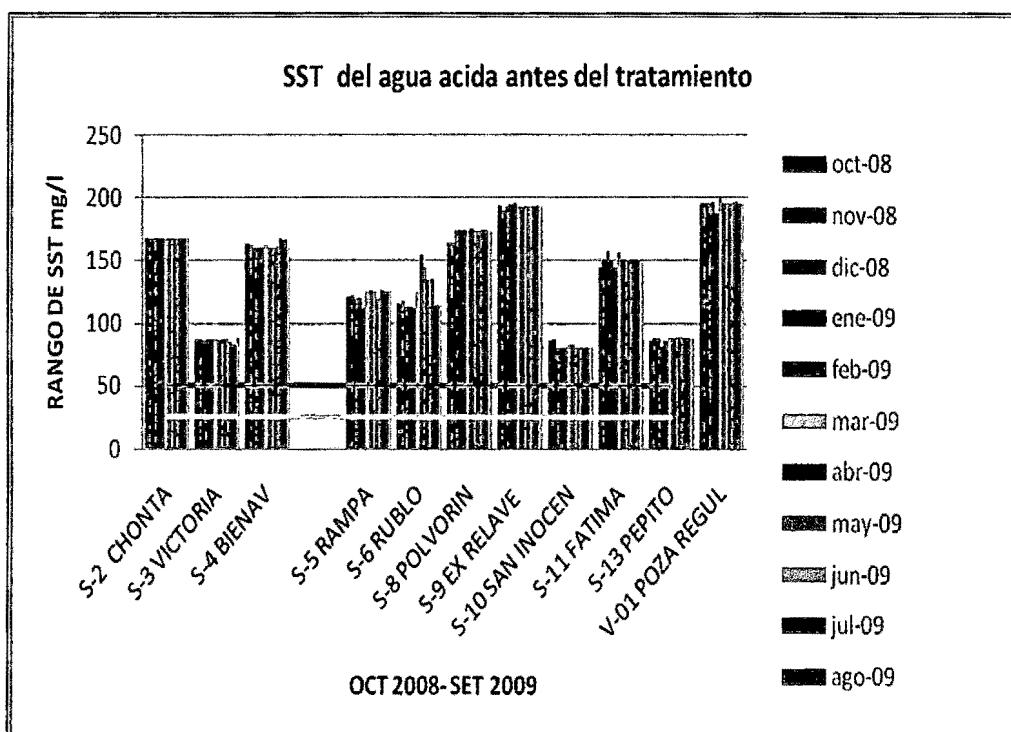
CUADRO Nº 5.2
POTENCIAL DE HIDROGENO DEL EFLUENTE ACIDO
ANTES DEL TRATAMIENTO OCTUBRE DEL 2008 A SETIEMBRE DEL 2009

PUNTOS MONITOREO	COORDENADAS		ALTURA msnm	pH												OBSERVACIONES
	Este	Norte		OCT 2008	NOV 2008	DIC 2008	ENE 2009	FEB 2009	MAR 2009	ABR 2009	MAY 2009	JUN 2009	JUL 2009	AGO 2009	SET 2009	
S-2	500,408.48	8,554,229.50	4569	2.33	2.40	2.45	2.50	2.30	2.00	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	Bocamina Chonta
S-3	501,236.41	8,554,776.10	4499	3.10	3.00	2.97	3.00	3.00	3.00	3.12	3.00	3.00	3.30	3.00	3.00	Bocamina Victoria
S-4	502,188.34	8,554,606.56	4498	2.50	2.54	2.50	2.50	2.45	2.50	2.40	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	Bocamina Bienaventurada
S-5	501,749.50	8,555,186.15	4400	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	Bocamina Rampa
S-6	501,913.07	8,555,186.15	4473	2.50	2.50	2.50	2.51	2.50	2.50	2.20	2.53	2.50	2.50	2.50	2.50	Bocamina Rublo
S-8	502,228.61	8,555,755.27	4490	2.50	2.40	2.50	2.45	2.25	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	Bocamina Polvorín
S-9	501,741.75	8,555,719.40	4442	2.51	2.50	2.50	2.32	2.50	2.52	2.50	2.50	2.50	2.50	2.52	2.50	Bocamina San Inocente
S-10	501,833.25	8,555,822.65	4438	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	Ex Relavera Rublo
S-11	501,794.08	8,556,353.70	4374	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	Bocamina Fátima
S-13	501,220.75	8,556,205.80	4429	5.50	5.50	5.38	5.50	5.40	5.51	5.54	5.50	5.50	5.45	5.54	5.50	Bocamina Pepito
V-01	501609.231	8556191.164	4338.95	2.31	2.33	2.33	2.32	2.32	2.32	2.33	2.33	2.33	2.33	2.33	2.33	Efluente Poza de Regulación Planta NCD

Fuente: Propia

En el Grafico 5.3 se muestra las características de los efluentes ácidos, con relación a sólidos totales en suspensión en los 10 puntos de monitoreo y la poza de regulación, estos resultados obtenidos durante los monitoreos realizados desde Octubre del 2008 a setiembre del 2009 no cumplen con los LMP de la RM N° 011-96-EM/VMM, en la resolución se indica que el SST debe estar en el rango de 25 – 50mg/l, también se observa en el grafico que en el punto S-9 y V-01 son muy elevados los SST.

Grafico 5.3 Sólidos totales en suspensión



En el cuadro 5.3 podemos observar el registro del SST de agua acida realizado durante el monitoreo en los meses de Octubre del 2008 a Setiembre del 2009.

CUADRO N° 5.3
SÓLIDOS TOTALES EN SUSPENSIÓN DEL EFLUENTE ACIDO
ANTES DEL TRATAMIENTO OCTUBRE DEL 2008 A SETIEMBRE DEL 2009

PUNTOS MONITOREO	COORDENADAS		ALTURA msnm	SST mg/l												OBSERVACIONES
	Este	Norte		OCT 2008	NOV 2008	DIC 2008	ENE 2009	FEB 2009	MAR 2009	ABR 2009	MAY 2009	JUN 2009	JUL 2009	AGO 2009	SET 2009	
S-2	500,408.48	8,554,229.50	4569	167.5	167.5	167.5	167.5	167.5	167.5	167.5	167.5	167.5	167.5	167.5	167.5	Bocamina Chonta
S-3	501,236.41	8,554,776.10	4499	87.21	88.2	86.2	87.24	87.45	87.67	87.00	87.65	88.2	85.2	83.2	89.23	Bocamina Victoria
S-4	502,188.34	8,554,606.56	4498	163.30	162.30	160.33	160.23	160.30	162.30	160.30	160.10	161.30	167.30	166.30	160.30	Bocamina Bienaventurada
S-5	501,749.50	8,555,186.15	4400	121.0	122.10	120.35	120.00	113.00	125.00	127.08	126.05	120.30	127.00	125.00	126.07	Bocamina Rampa
S-6	501,913.07	8,555,186.15	4473	115.34	118.00	113.22	114.00	113.00	125.00	155.00	145.00	135.00	135.23	115.00	115.00	Bocamina Rublo
S-8	502,228.61	8,555,755.27	4490	164.78	164.65	174.00	174.10	174.23	174.45	174.80	174.00	174.00	174.20	174.60	174.00	Bocamina Polvorín
S-9	501,741.75	8,555,719.40	4442	194.20	190.27	194.20	195.25	196.20	194.20	192.18	194.20	194.20	194.20	194.20	194.20	Bocamina San Inocente
S-10	501,833.25	8,555,822.65	4438	86.20	87.24	81.20	81.25	81.27	83.20	83.35	81.20	81.20	81.17	81.28	81.20	Ex Relavera Rublo
S-11	501,794.08	8,556,353.70	4374	145.20	150.20	158.20	150.20	145.20	157.20	151.10	150.24	150.20	150.13	151.23	150.20	Bocamina Fátima
S-13	501,220.75	8,556,205.80	4429	87.00	89.12	89.00	82.00	87.00	89.00	89.15	89.45	89.56	89.20	89.23	89.00	Bocamina Pepito
V-01	501609.231	8556191.164	4338.95	195.80	195.80	195.80	196.80	188.80	199.80	195.87	195.78	195.98	196.67	195.80	196.12	Efluente Poza de Regulación Planta NCD

Fuente: Propia

En los cuadros 5.4.1, 5.4.2, 5.4.3, 5.4.4, 5.4.5, 5.4.6 y Gráficos 5.4.1, 5.4.2, 5.4.3, ... , 5.4.72 (Apéndice) se muestra las características de los efluentes ácidos, con relación a los metales disueltos en los 10 puntos de monitoreo y la poza de regulación, estos resultados obtenidos durante los monitoreos realizados desde Octubre del 2008 a setiembre del 2009 no cumplen con los LMP de la RM N° 011-96-EM/VMM, para los metales (Pb, Cu, Zn, Fe, As y CN).

5.2 DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE PROCESO

- a) **Lecha de Cal.** La cantidad de lechada de cal a utilizar en el proceso de neutralización para un volumen de 40 L/s de agua acida es de 600 ml/s al 10% w/w observar prueba realizada tabla T.5a:

Tabla T.5a

Vol. Lecha Cal 10% w/w	Tiempo de agitación	pH Inicial	pH Final	Observación
5.0 ml	5min	2.30	3.71	1 .0 litro agua acida
10.0 ml	5min	3.71	5.24	
15.0 ml	5min	5.24	8.95	
20.0 ml	5min	8.95	10.85	

- b) **Tiempo de neutralización.** El tiempo de neutralización utilizado para neutralizar 40 l/s de agua acida en la planta NCD es de 15 minutos, se observa en la tabla T.5b:

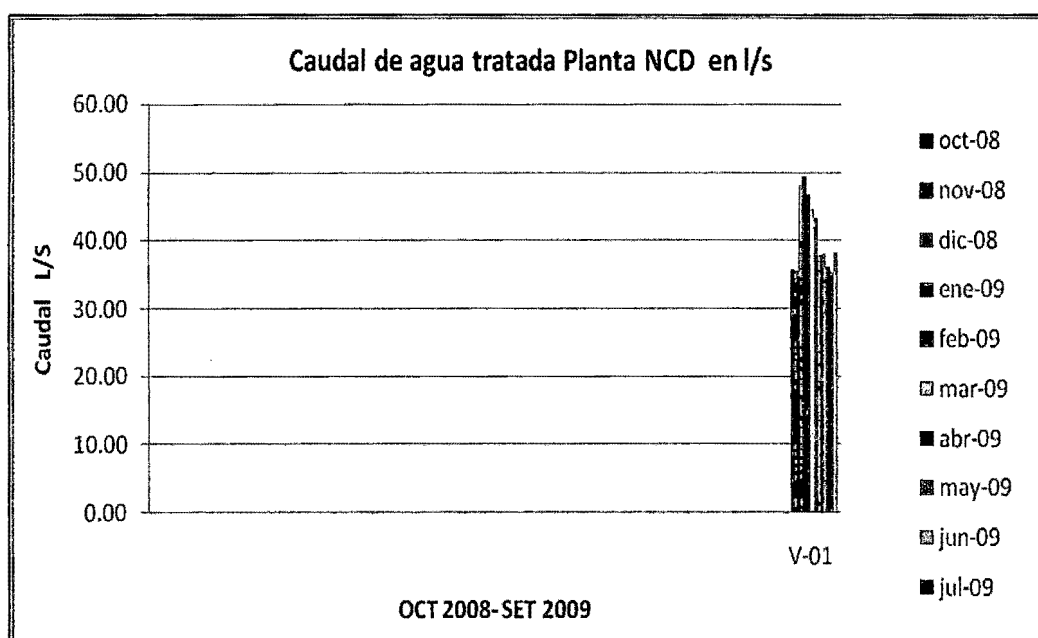
Tabla T.5b

Vol. Lecha Cal 10% w/w	Tiempo de agitación	pH Inicial	pH Final	Observación
5.0 ml	5min	2.30	3.71	1 .0 litro agua acida
10.0 ml	5min	3.71	5.24	
15.0 ml	5min	5.24	8.95	
20.0 ml	5min	8.95	10.85	

5.4 CARACTERIZACIÓN DE LOS EFLUENTES DESPUÉS DEL TRATAMIENTO

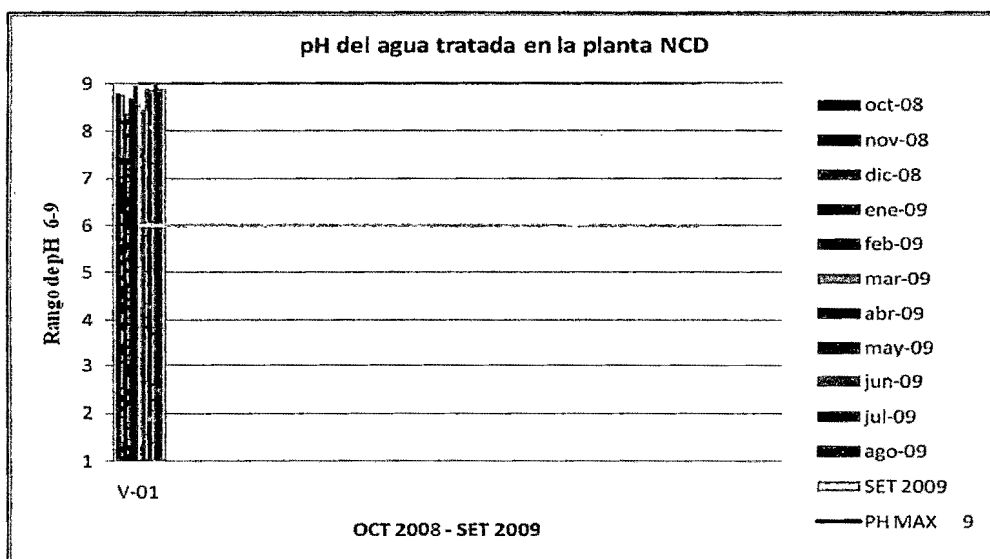
En el grafico 5.5.1 se muestra las características del efluente que salde de la planta NCD hacia el vertimiento V-01, el caudal de agua tratada en la planta NCD es de 40 l/s

GRAFICO 5.5.1 Evaluación del Caudal de agua tratada en la planta NCD en la estación de monitoreo V-01 Octubre del 2008 a Setiembre del 2009



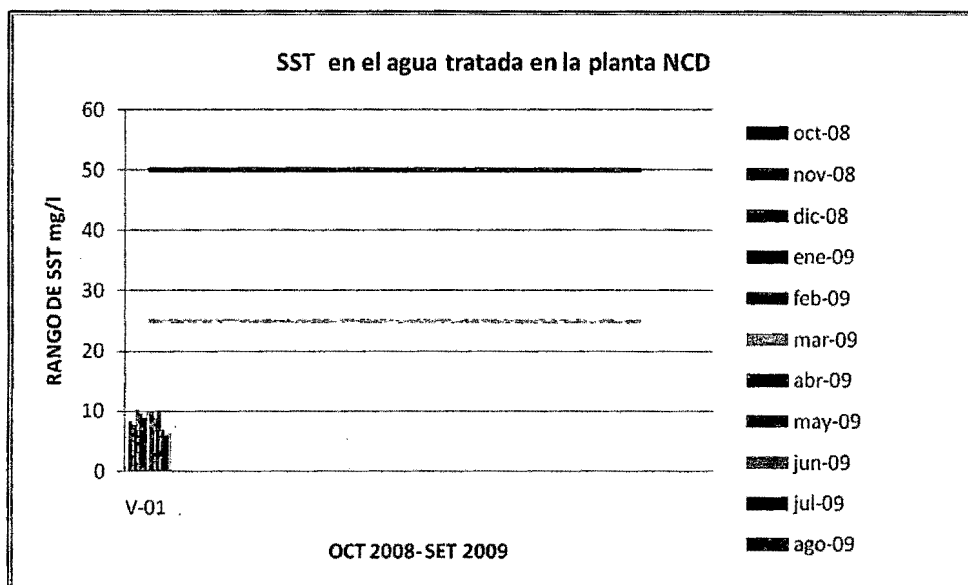
En el grafico 5.5.2 se muestra las características del efluente que salde de la planta NCD hacia el vertimiento V-01, cumpliendo con los LMP de la RM N° 011-96-EM/VMM, el pH cumple con el rango de 6 – 9. Esto indica que la planta NCD trabaja eficientemente por mantener un pH cercano a 9.

GRAFICO 5.5.2 Evaluación del pH del agua tratada en la planta NCD en la estación de monitoreo V-01 Octubre del 2008 a Setiembre del 2009



En el grafico 5.5.3 se muestra las características del efluente que sale de la planta NCD hacia el vertimiento V-01, cumpliendo con los LMP de la RM N° 011-96-EM/VMM, los SST cumplen con el rango de 25 – 50mg/l.

GRAFICO 5.5.3 Evaluación del SST del agua tratada en la planta NCD, estación de monitoreo V-01 Octubre del 2008 a Setiembre del 2009

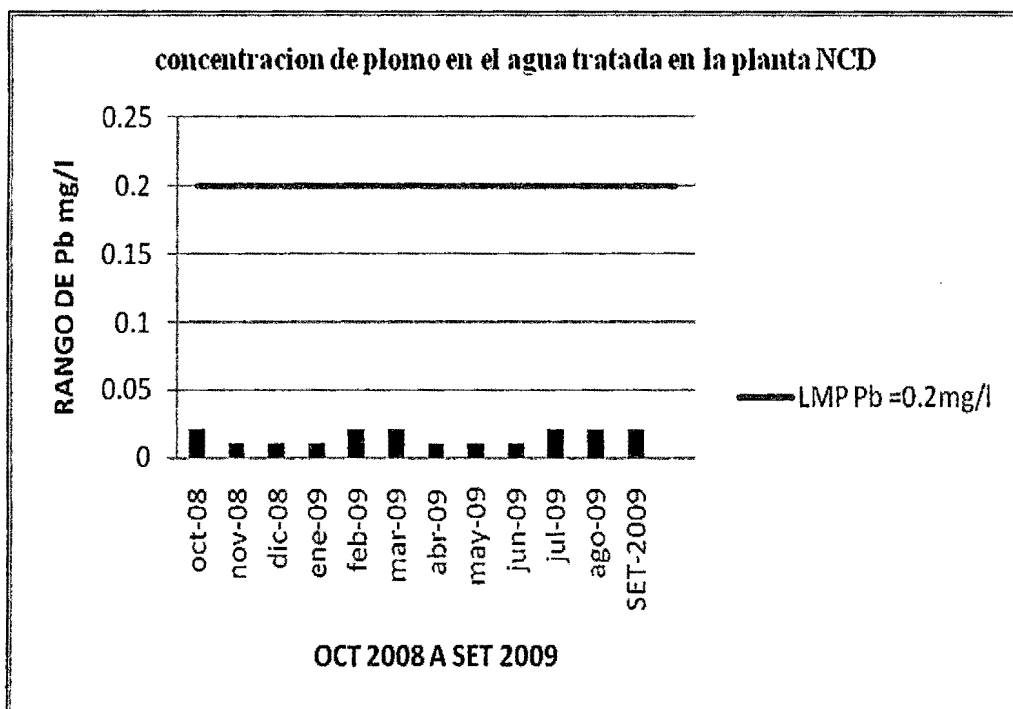


En los cuadros 5.5 y 5.6, (Apéndice). Se tiene las características de Caudal, pH, SST y Metales disueltos de las aguas tratadas en la planta NCD.

En el grafico 5.6.1 se observa que el agua tratada en la planta NCD, cumple con los LMP de la R.M. N° 011-96-EM/VMM, Plomo 0.2 mg/l.

GRAFICO 5.6.1

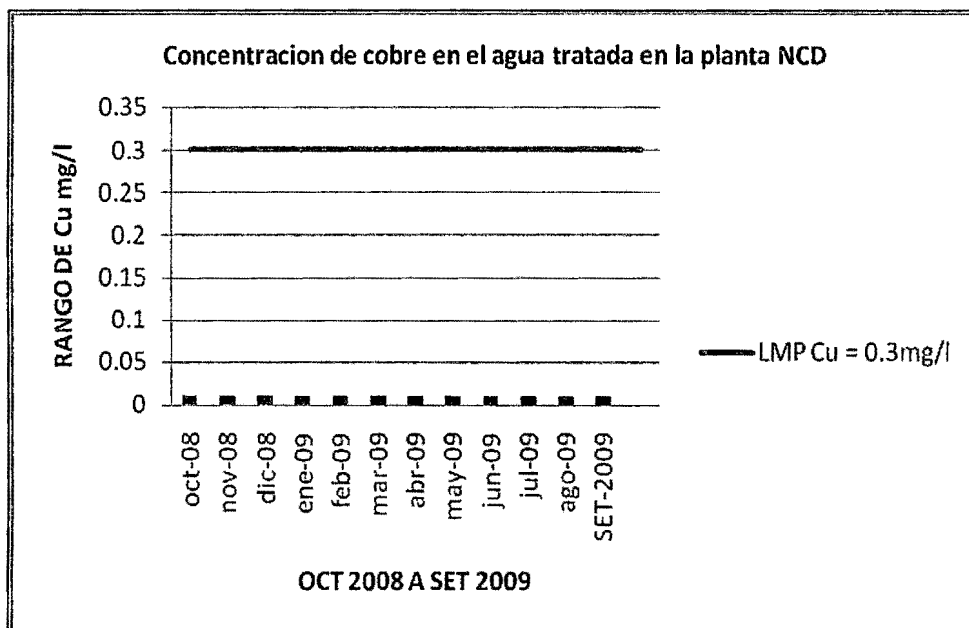
Evaluación del plomo en el agua tratada en la planta NCD, estación de monitoreo V-01 Octubre del 2008 a Setiembre del 2009



En el grafico 5.6.2 se observa que el agua tratada en la planta NCD, cumple con los LMP de la RM N° 011-96-EM/VMM, cobre 0.3 mg/l.

GRAFICO 5.6.2

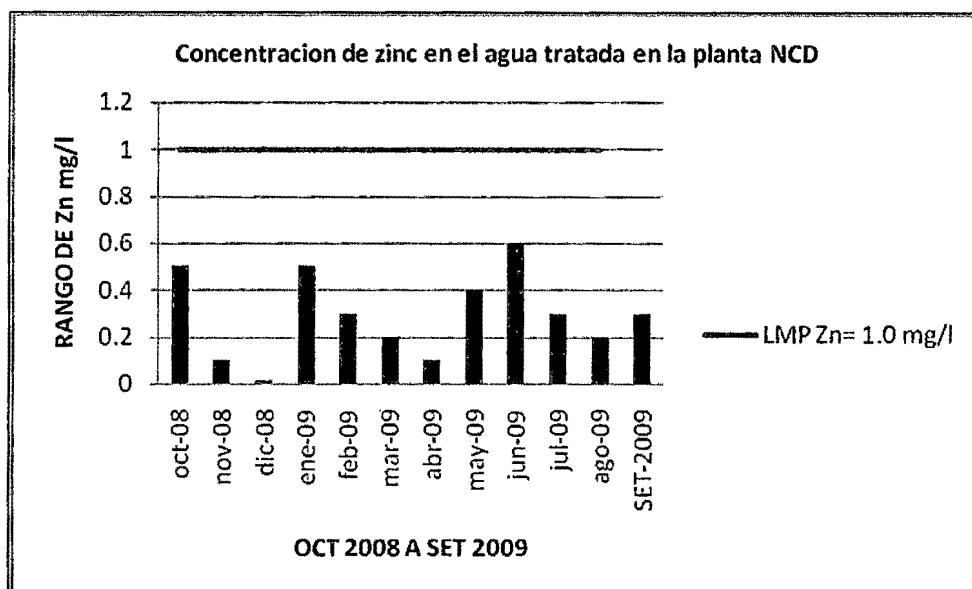
Evaluación del cobre en el agua tratada en la planta NCD, estación de monitoreo V-01 Octubre del 2008 a Setiembre del 2009



En el grafico 5.6.3 se observa que el agua tratada en la planta NCD, cumple con los LMP de la RM N° 011-96-EM/VMM, zinc 1.0 mg/l.

GRAFICO 5.6.3

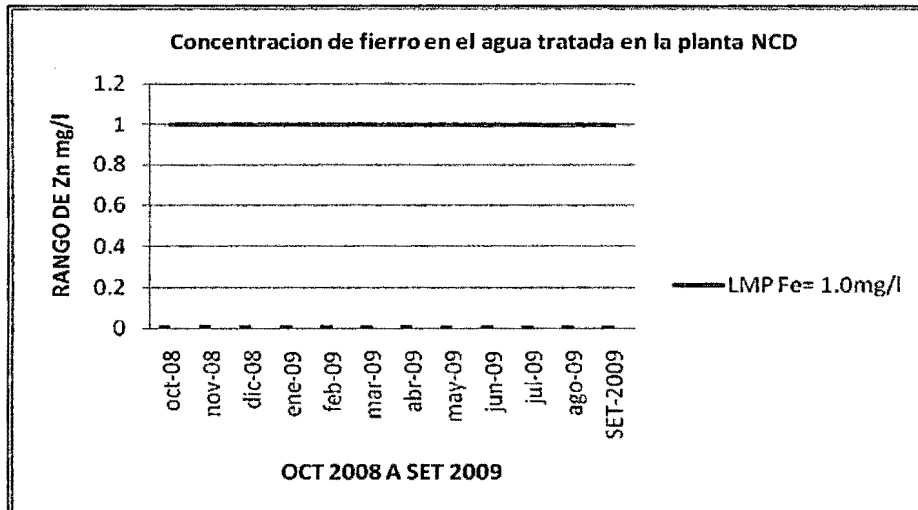
Evaluación del zinc en el agua tratada en la planta NCD, estación de monitoreo V-01 Octubre del 2008 a Setiembre del 2009



En el grafico 5.6.4 se observa que el agua tratada en la planta NCD, cumple con los LMP de la R.M. N° 011-96-EM/VMM, fierro 1.0 mg/l.

GRAFICO 5.6.4

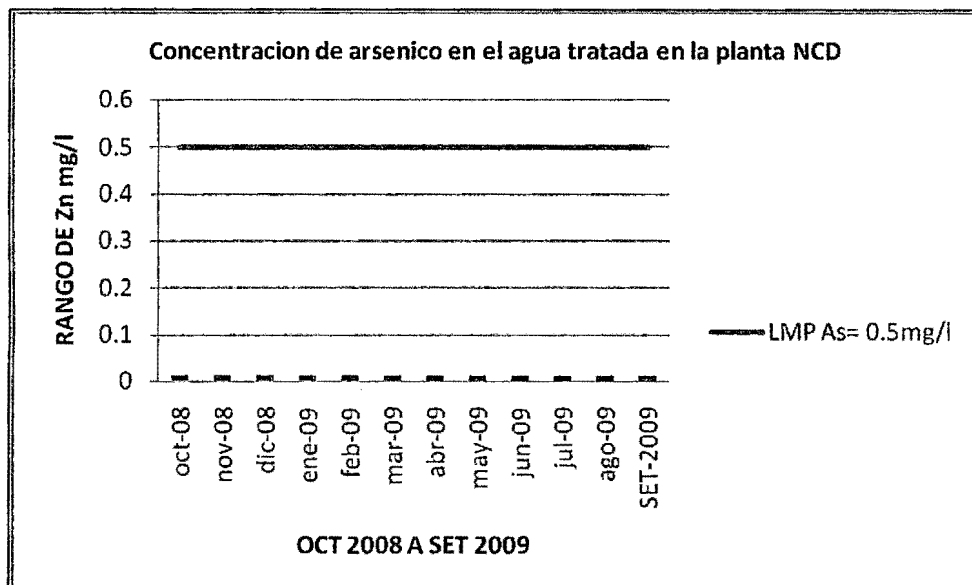
Evaluación del fierro en el agua tratada en la planta NCD, estación de monitoreo V-01 Octubre del 2008 a Setiembre del 2009.



En el grafico 5.6.5 se observa que el agua tratada en la planta NCD, cumple con los LMP de la RM N° 011-96-EM/VMM, arsénico 0.5 mg/l.

GRAFICO 5.6.5

Evaluación del arsénico en el agua tratada en la planta NCD, estación de monitoreo V-01 Octubre del 2008 a Setiembre del 2009



CAPÍTULO VI

DISCUSIÓN

El presente trabajo de investigación es el resultado de una serie de pruebas que se realizó en la Cia. Minera Caudalosa S.A.

- ❖ **Calidad del agua acida de la Cía. Minera Caudalosa S.A.-** la calidad del agua está determinada por la presencia y la cantidad de contaminantes químicos. Las actividades antropogénicas son las responsables de la alteración de estos factores por la disposición de los efluentes en los cursos de agua superficial y otros.

Evaluaciones realizadas en la Cía. Minera Caudalosa S.A, muestran que los niveles de SST, pH, metales disueltos y otros no cumplen con los límites máximos permisibles de la R.M. N° 011-96-EM/VMM en ninguno de los puntos de monitoreo, por no contar con un tratamiento adecuado.

- ❖ **Potencial de hidrogeno (pH).-** Los valores de pH para un efluente de mina fluctúan en el rango de 1.5 a 5.5, como se muestra en el cuadro 5.2 y grafico 5.2 lo que indica que se tiene que realizar un tratamiento de estas aguas antes de ser vertidas al cuerpo receptor y buscar de alguna manera que el pH tratado sea constante establecido por la RM N° 011-96-EM/VMM.

- ❖ **Sólidos totales en suspensión.-** los resultados de monitoreo indican valores por encima de los LMP de la RM N° 011-96-EM/VMM como podemos observar en el cuadro 5.3 y grafico 5.3 encontrándose un pico

en el punto S-2, S-4,S-9 y V-01 con 198mg/l en el punto de la poza de regulación y hay presencia de material particulado, por ser un efluente ácido.

- ❖ **Metales totales y disueltos.-** las actividades mineras en las diferentes etapas del proceso generan residuos de minerales que son transportados y vertidos al cuerpo receptor, estos elementos son tóxicos y peligrosos para el ecosistema y la salud humana como plomo, arsénico, cobre, fierro etc.

Los análisis de metales en los efluentes de agua ácida para los puntos de monitoreo registraron valores en plomo, cobre, zinc, fierro, arsénico que superan los LMP de la RM N° 011-96-EM/VMM, como podemos ver en el cuadro 5.4.1,5.4.2,5.4.3,5.4.4,5.4.5,5.4.6 y gráfico 5.4.1,5.4.2,5.4.3,5.4.4,5.4.5,5.4.6 ,..., 5.4.72.

- ❖ **Calidad de agua tratada en la planta NCD Cía. Minera Caudalosa S.A.-** Evaluaciones realizadas en la Cía. Minera Caudalosa S.A, muestran que los niveles de SST, pH, metales disueltos y otros cumplen con los límites máximos permisibles de la R.M. N° 011-96-EM/VMM, punto de monitoreo V-01.

- ❖ **Potencial de hidrogeno (pH).-** Los valores de pH para el efluente tratado en la planta NCD fluctúan en el rango de 6 a 9, como se muestra en el cuadro 5.5 (Apéndice) lo que indica que se cumple con los LMP de la R.M. N° 011-96-EM/VMM.

- ❖ **Sólidos totales en suspensión.-** Los resultados de monitoreo indican valores de SST que cumplen con los LMP de la RM N° 011-96-EM/VMM como podemos observar en el cuadro 5.5 (Apéndice) encontrándose un pico en todos los puntos con 8.0 a 15mg/l.

- ❖ **Metales totales y disueltos.-** Los metales disueltos en el agua tratada que sale de la planta NCD al V-01, cumplen con los LMP de la RM N° 011-96-EM/VMM todos los metales están por debajo de lo permisible, ver cuadro 5.6 (Apéndice).

- ❖ **Tratamiento de aguas acidas en una planta convencional Cia Minera Caudalosa S.A.-** El proceso de tratamiento más común utilizado en el tratamiento de aguas ácidas en cia minera caudalosa era emplear cal, en cuya etapa inicial se produce la neutralización de la acidez y finaliza con la oxidación del hierro ferroso para formar hidróxido férrico que es insoluble y precipita. El proceso comienza con la entrada del agua ácida a la poza, a través de un canal donde se mide el caudal y el pH; pasa seguidamente a neutralizar donde se adiciona la lechada de cal hasta alcanzar un valor del pH entre 6 y 9,5; con el que se consigue que se formen los hidróxidos de hierro y manganeso. Estas se tienen que agitar hasta conseguir una homogenización, transcurriendo cierto tiempo. El principal problema de este método de tratamiento es que se generan grandes cantidades de lodo con una densidad muy baja y que son inmanejables, si no se tiene espacios suficientes para almacenar y secarlos por un periodo de 6 meses.
Por otro lado los resultados para los valores en pH, SST, Metales disueltos y otros no se cumplen y no se ajustan a la R.M. N° 011-96-EM/VMM, por lo que estos incumplimientos ameritan una sanción por parte de las autoridades competentes del MEM.

- ❖ **Planta de tratamiento NCD.-** La calidad de agua se controla con el pH del mismo en el punto de descarga del Tanque Agitador de TK-03. El pH objetivo para cumplir con los LMP de efluentes mineros es 9.0. Los tanques 1, 2 ,3 y 4, cuentan con un sistema forzada tipo “downcomer” que no permite que el agua ácida se descargue sin mezclarse con el relave fino (over flow) y viceversa.

Del proceso de neutralización, permite que los precipitados coloidales se generen y mantengan suspendidos tanto en el canal como en la tubería de conducción. Siendo la coagulación un fenómeno que no toma más de 1 minuto y la neutralización y oxidación puede ser lograda en términos de 10 minutos (esto dependerá del caudal de agua que se maneje) si se insufla oxígeno en lugar de aire, disminuye el tiempo a 6 minutos, el tiempo de residencia en los reactores de las Plantas NCD no supera los 3 minutos.

Es rentable por lo que los lodos generados se mezclan con los relaves finos y juntos son enviados a la presa de relaves para conformar los diques de reforzamiento y no se necesita espacios grandes para depositarlos.

CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES

1. Al caracterizar los efluentes ácidos de mina, se ha determinado niveles bajos de pH, alto contenido de iones metálicos. Que se Incumple con los límites máximos permisibles de la RM N° 011-96-EM/VMM y El D.S N° 010- 2010 MINAM. descargan directamente al cuerpo receptor rio escalera.
2. La adecuada dosificación de lechada de cal , relave fino , polímeros anionicos, determinaron la calidad de agua y que cumple con la RM N° 011-96-EM/VMM y El D.S N° 010- 2010 MINAM.
3. El proceso NCD representa la mejor tecnología, entre las opciones convencionales y no convencionales, que se dispone para producir efluentes de alta calidad, volúmenes mínimos de lodo estable, consumos reducidos de energía y áreas reducidas de terreno, redundando en el menor costo global posible. Alcanzando a cumplir los efluentes tratados con los Limites Máximos Permisibles de la RM N° 011-96-EM/VMM y El D.S N° 010- 2010 MINAM.
4. Al caracterizar los efluentes ácidos de mina despues del tratamiento realizado en la NCD, se ha determinado niveles de pH dentro del rango, contenido de iones metálicos. Que cumplen con los limites máximos permisibles de la RM N° 011-96-EM/VMM y El D.S N° 010- 2010 MINAM. descargan directamente al cuerpo receptor rio escalera.

CAPÍTULO VIII

RECOMENDACIONES

1. Esta propuesta que ha sido desarrollada empleando tecnología peruana la cual debe de ser implementada de inmediato, para resolver el problema ambiental ocasionado por las aguas ácidas que drenan de las Bocaminas antiguas de la CIA Minera Caudalosa. Y otra empresas
2. Nuestro país al ser eminentemente minero, y al haberse explotado por décadas desde inicios del siglo pasado, ha ocasionado la existencia de muchos pasivos mineros, que tienen la característica de drenar aguas ácidas, en ese sentido recomendamos la aplicación de esta tecnología que económicamente es más factible de aplicar que las tecnologías importadas.
3. Trabajos de esta naturaleza requieren ser difundidos como un inicio de una propuesta de tecnología limpia que a la larga servirá de base para la elaboración de nuevas propuestas que tengan fines de conservar los sistemas ecológicos.
4. Se recomienda el uso de relave fino tiene un gran poder Neutralizante a la vez que actúa como coagulante, en comparación que la utilización de relave sin previa clasificación.
5. Si es que no hubiese o se acaben las reservas de relaves que se encuentran en la zona, la caliza con granulometría -m50 es otra alternativa para el proceso de coagulación.
6. Frente a Cualquier contingencia por si es que hubiera cualquier desperfecto en los reactores, se puede usar el mismo túnel como reactor, por medio de tuberías agregar la cal dentro del túnel y así solo se mezclaría con el relave y sedimentaria rápidamente.

CAPÍTULO IX

BIBLIOGRAFÍA

1. **AMEC 2007.** Estudio de Factibilidad de la Planta de Tratamiento de Aguas Ácidas del Túnel Kingsmill. Estudio realizado por AMEC para Minera Perú Copper. 2007.
2. **CONSULCONT 2000.** Diagnósis e ingeniería conceptual del manejo de agua ácidas en Carahuacra, San Cristóbal y MahrTúnel. Estudio realizado por Consulcont S.A.C. para Volcán Compañía Minera S.A.A. 2000.
3. **CONSULTCON S.A.C. 2008:** Estudio de Factibilidad de la Planta NCD Transitoria de Tratamiento del T. Kingsmill. Estudio realizado por CONSULTCON S.A.C. para SMALLVILL S.A.C., 2008.
4. **GOLDER 2001:** Technical Feasibility Study, Environmental Impact Assesment and Feasibility Study for the use of treated acid mine drainage, Kingsmill túnel. Estudio realizado por Golder Associates Inc. para Centromin y Sedapal. 2001.
5. **LÓPEZ PAMO, O. ADUVIRE Y D. BARETTINO:** Tratamientos pasivos de drenajes ácidos de mina: estado actual y perspectivas del futuro; Instituto Geológico y Minero de España. Ríos Rosas, 23. 28003 Madrid. ETSI de Minas (Universidad Politécnica de Madrid). Ríos Rosas, 21. 2003 Madrid.
6. **LOVERA** et al. "Tecnologías limpias". En: Revista de Investigación de la Facultad de Geología, Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas, N°03, 1999.
7. **LLAMOSAS JAIME.** "Systems for the control and prevention of acid drainage in peruvian tailings dams. International mining and environment congress. Lima, July 1998.

8. **KC-SVS 1999:** Estudio del tratamiento y la derivación de las aguas del túnel Kingsmill y las lagunas Huascacocha y Huacracocha y su integración al proyecto Marca II. Estudio realizado por Klohn Crippen-SVS Ingenieros para Sedapal, 1999.
9. **SMALLVILL 2002.** Proyecto de Investigación Pilotaje del proceso NCD en el Túnel Kingsmill. Realizado por Smallvill S.A.C. para CONCYTEC. 2002.
10. **SMALLVILL 2002.** Estudio de Tratamiento del Efluente del Túnel Kingsmill empleando el proceso NCD; Ventajas y Desventajas frente a Procesos Convencionales. Informe Interno de Investigación. 2003.
11. **VILLACHICA CARLOS.** "Sistemas Metalúrgicos para el Control de Drenaje Acido" Primer Simposio Nacional de Medio Ambiente y Seguridad Minera. Lima, Junio 1997.
12. **VILLACHICA CARLOS.** "El Proceso de Neutralización y Coagulación Dinámica: Un Proceso Eficiente y de Bajo Costo para tratar los Efluentes Ácidos de Mina" Mundo Minero, Lima, Perú. Diciembre 2001; Revista Minería del IIMP, Marzo 2002.
13. **VILLACHICA CARLOS.** "Dynamic Neutralization and Coagulation (DNC) Process for Efficient and Low Cost treatment of Acid Mine Drainage" V.Conference on Metallurgy, Refractories and Environment. Technical University of Kosice. Kosice, Eslovaquia. Mayo 14, 2002.
14. **VILLACHICA CARLOS.** "Proceso NCD: Tecnología Nacional comprobada para el tratamiento de efluentes ácidos mineros" IV Congreso internacional de Medio Ambiente en Minería y Metalurgia. Lima. Julio, 2005.

APÉNDICE

CUADRO

CUADRO N° 5.4.1
METALES DISUELTOS PRESENTES EN EL EFLUENTE ACIDO
ANTES DEL TRATAMIENTO OCTUBRE DEL 2008 A SETIEMBRE DEL 2009

PUNTOS MONITOREO	COORDENADAS		ALTURA	Metales mg/l (Absorción Atómica)												OBSERVACIONES
	Este	Norte	msnm	OCTUBRE-2008						NOVIEMBRE-2008						
				Pb	Cu	Zn	Fe	As	CN	Pb	Cu	Zn	Fe	As	CN	
S-2	500,408.48	8,554,229.50	4569	3.45	4.98	39.45	13.33	<0.001	N/A	3.45	4.98	39.45	13.33	<0.001	N/A	Bocamina Chonta
S-3	501,236.41	8,554,776.10	4499	4.55	6.21	43.24	25.45	0.01	N/A	4.55	6.21	43.24	25.45	0.01	N/A	Bocamina Victoria
S-4	502,188.34	8,554,606.56	4498	4.0	5.12	32.15	67.45	<0.001	N/A	4.0	5.12	32.15	67.45	<0.001	N/A	Bocamina Bienaventurada
S-5	501,749.50	8,555,186.15	4400	6.5	3.45	32.56	32.3	<0.001	N/A	6.5	3.45	32.56	32.3	<0.001	N/A	Bocamina Rampa
S-6	501,913.07	8,555,186.15	4473	3.5	4.56	34.23	45.5	<0.001	N/A	3.5	4.56	34.23	45.5	<0.001	N/A	Bocamina Rublo
S-8	502,228.61	8,555,755.27	4490	4.4	7.0	23.43	16.7	0.01	N/A	4.4	7.0	23.43	16.7	0.01	N/A	Bocamina Polvorín
S-9	501,741.75	8,555,719.40	4442	5.6	5.4	24.12	23.45	<0.001	N/A	5.6	5.4	24.12	23.45	<0.001	N/A	Bocamina San Inocente
S-10	501,833.25	8,555,822.65	4438	6.0	4.5	30.23	17.24	<0.001	N/A	6.0	4.5	30.23	17.24	<0.001	N/A	Ex Relavera Rublo
S-11	501,794.08	8,556,353.70	4374	3.87	4.2	19.45	14.2	<0.001	N/A	3.87	4.2	19.45	14.2	<0.001	N/A	Bocamina Fátima
S-13	501,220.75	8,556,205.80	4429	2.45	3.9	14.76	12.3	0.01	N/A	2.45	3.9	14.76	12.3	0.01	N/A	Bocamina Pepito
V-01	501609.231	8556191.164	4338.95	3.26	5.26	38.25	68.32	0.01	N/A	3.26	5.26	38.25	68.32	0.01	N/A	Efluente Poza de Regulación Planta NCD

Fuente: Propia

CUADRO N° 5.4.2
METALES DISUELTOS PRESENTES EN EL EFLUENTE ACIDO
ANTES DEL TRATAMIENTO OCTUBRE DEL 2008 A SETIEMBRE DEL 2009

PUNTOS MONITOREO	COORDENADAS		ALTURA	Metales mg/l (Absorción Atómica)												OBSERVACIONES
	Este	Norte	msnm	DICIEMBRE-2008						ENERO-2009						
				Pb	Cu	Zn	Fe	As	CN	Pb	Cu	Zn	Fe	As	CN	
S-2	500,408.48	8,554,229.50	4569	3.45	4.98	39.45	13.33	<0.001	N/A	3.45	4.98	39.45	13.33	<0.001	N/A	Bocamina Chonta
S-3	501,236.41	8,554,776.10	4499	4.55	6.21	43.24	25.45	0.01	N/A	4.55	6.21	43.24	25.45	0.01	N/A	Bocamina Victoria
S-4	502,188.34	8,554,606.56	4498	4.0	5.12	32.15	67.45	<0.001	N/A	4.0	5.12	32.15	67.45	<0.001	N/A	Bocamina Bienaventurada
S-5	501,749.50	8,555,186.15	4400	6.5	3.45	32.56	32.3	<0.001	N/A	6.5	3.45	32.56	32.3	<0.001	N/A	Bocamina Rampa
S-6	501,913.07	8,555,186.15	4473	3.5	4.56	34.23	45.5	<0.001	N/A	3.5	4.56	34.23	45.5	<0.001	N/A	Bocamina Rublo
S-8	502,228.61	8,555,755.27	4490	4.4	7.0	23.43	16.7	0.01	N/A	4.4	7.0	23.43	16.7	0.01	N/A	Bocamina Polvorín
S-9	501,741.75	8,555,719.40	4442	5.6	5.4	24.12	23.45	<0.001	N/A	5.6	5.4	24.12	23.45	<0.001	N/A	Bocamina San Inocente
S-10	501,833.25	8,555,822.65	4438	6.0	4.5	30.23	17.24	<0.001	N/A	6.0	4.5	30.23	17.24	<0.001	N/A	Ex Relavera Rublo
S-11	501,794.08	8,556,353.70	4374	3.87	4.2	19.45	14.2	<0.001	N/A	3.87	4.2	19.45	14.2	<0.001	N/A	Bocamina Fátima
S-13	501,220.75	8,556,205.80	4429	2.45	3.9	14.76	12.3	0.01	N/A	2.45	3.9	14.76	12.3	0.01	N/A	Bocamina Pepito
V-01	501609.231	8556191.164	4338.95	3.26	5.26	38.25	68.32	0.01	N/A	3.26	5.26	38.25	68.32	0.01	N/A	Efluente Poza de Regulación Planta NCD

Fuente: Propia

CUADRO N° 5.4.3
METALES DISUELTOS PRESENTES EN EL EFLUENTE ACIDO
ANTES DEL TRATAMIENTO OCTUBRE DEL 2008 A SETIEMBRE DEL 2009

PUNTOS MONITOREO	COORDENADAS		ALTURA	Metales mg/l (Absorción Atómica)												OBSERVACIONES
	Este	Norte	msnm	FEBRERO-2009						MARZO-2009						
				Pb	Cu	Zn	Fe	As	CN	Pb	Cu	Zn	Fe	As	CN	
S-2	500,408.48	8,554,229.50	4569	3.45	4.98	39.45	13.33	<0.001	N/A	3.45	4.98	39.45	13.33	<0.001	N/A	Bocamina Chonta
S-3	501,236.41	8,554,776.10	4499	4.55	6.21	43.24	25.45	0.01	N/A	4.55	6.21	43.24	25.45	0.01	N/A	Bocamina Victoria
S-4	502,188.34	8,554,606.56	4498	4.0	5.12	32.15	67.45	<0.001	N/A	4.0	5.12	32.15	67.45	<0.001	N/A	Bocamina Bienaventurada
S-5	501,749.50	8,555,186.15	4400	6.5	3.45	32.56	32.3	<0.001	N/A	6.5	3.45	32.56	32.3	<0.001	N/A	Bocamina Rampa
S-6	501,913.07	8,555,186.15	4473	3.5	4.56	34.23	45.5	<0.001	N/A	3.5	4.56	34.23	45.5	<0.001	N/A	Bocamina Rublo
S-8	502,228.61	8,555,755.27	4490	4.4	7.0	23.43	16.7	0.01	N/A	4.4	7.0	23.43	16.7	0.01	N/A	Bocamina Polvorín
S-9	501,741.75	8,555,719.40	4442	5.6	5.4	24.12	23.45	<0.001	N/A	5.6	5.4	24.12	23.45	<0.001	N/A	Bocamina San Inocente
S-10	501,833.25	8,555,822.65	4438	6.0	4.5	30.23	17.24	<0.001	N/A	6.0	4.5	30.23	17.24	<0.001	N/A	Ex Relavera Rublo
S-11	501,794.08	8,556,353.70	4374	3.87	4.2	19.45	14.2	<0.001	N/A	3.87	4.2	19.45	14.2	<0.001	N/A	Bocamina Fátima
S-13	501,220.75	8,556,205.80	4429	2.45	3.9	14.76	12.3	0.01	N/A	2.45	3.9	14.76	12.3	0.01	N/A	Bocamina Pepito
V-01	501609.231	8556191.164	4338.95	3.26	5.26	38.25	68.32	0.01	N/A	3.26	5.26	38.25	68.32	0.01	N/A	Efluente Poza de Regulación Planta NCD

Fuente: Propia

CUADRO N° 5.4.4
METALES DISUELTOS PRESENTES EN EL EFLUENTE ACIDO
ANTES DEL TRATAMIENTO OCTUBRE DEL 2008 A SETIEMBRE DEL 2009

PUNTOS MONITOREO	COORDENADAS		ALTURA	Metales mg/l (Absorción Atómica)												OBSERVACIONES
	Este	Norte	msnm	ABRIL-2009						MAYO-2009						
				Pb	Cu	Zn	Fe	As	CN	Pb	Cu	Zn	Fe	As	CN	
S-2	500,408.48	8,554,229.50	4569	3.45	4.98	39.45	13.33	<0.001	N/A	3.45	4.98	39.45	13.33	<0.001	N/A	Bocamina Chonta
S-3	501,236.41	8,554,776.10	4499	4.55	6.21	43.24	25.45	0.01	N/A	4.55	6.21	43.24	25.45	0.01	N/A	Bocamina Victoria
S-4	502,188.34	8,554,606.56	4498	4.0	5.12	32.15	67.45	<0.001	N/A	4.0	5.12	32.15	67.45	<0.001	N/A	Bocamina Bienaventurada
S-5	501,749.50	8,555,186.15	4400	6.5	3.45	32.56	32.3	<0.001	N/A	6.5	3.45	32.56	32.3	<0.001	N/A	Bocamina Rampa
S-6	501,913.07	8,555,186.15	4473	3.5	4.56	34.23	45.5	<0.001	N/A	3.5	4.56	34.23	45.5	<0.001	N/A	Bocamina Rublo
S-8	502,228.61	8,555,755.27	4490	4.4	7.0	23.43	16.7	0.01	N/A	4.4	7.0	23.43	16.7	0.01	N/A	Bocamina Polvorín
S-9	501,741.75	8,555,719.40	4442	5.6	5.4	24.12	23.45	<0.001	N/A	5.6	5.4	24.12	23.45	<0.001	N/A	Bocamina San Inocente
S-10	501,833.25	8,555,822.65	4438	6.0	4.5	30.23	17.24	<0.001	N/A	6.0	4.5	30.23	17.24	<0.001	N/A	Ex Relavera Rublo
S-11	501,794.08	8,556,353.70	4374	3.87	4.2	19.45	14.2	<0.001	N/A	3.87	4.2	19.45	14.2	<0.001	N/A	Bocamina Fátima
S-13	501,220.75	8,556,205.80	4429	2.45	3.9	14.76	12.3	0.01	N/A	2.45	3.9	14.76	12.3	0.01	N/A	Bocamina Pepito
V-01	501609.231	8556191.164	4338.95	3.26	5.26	38.25	68.32	0.01	N/A	3.26	5.26	38.25	68.32	0.01	N/A	Efluente Poza de Regulación Planta NCD

Fuente: Propia

CUADRO N° 5.4.5
METALES DISUELTOS PRESENTES EN EL EFLUENTE ACIDO
ANTES DEL TRATAMIENTO OCTUBRE DEL 2008 A SETIEMBRE DEL 2009

PUNTOS MONITOREO	COORDENADAS		ALTURA msnm	Metales mg/l (Absorción Atómica)												OBSERVACIONES
	Este	Norte		JUNIO-2009						JULIO-2009						
				Pb	Cu	Zn	Fe	As	CN	Pb	Cu	Zn	Fe	As	CN	
S-2	500,408.48	8,554,229.50	4569	3.45	4.98	39.45	13.33	<0.001	N/A	3.45	4.98	39.45	13.33	<0.001	N/A	Bocamina Chonta
S-3	501,236.41	8,554,776.10	4499	4.55	6.21	43.24	25.45	0.01	N/A	4.55	6.21	43.24	25.45	0.01	N/A	Bocamina Victoria
S-4	502,188.34	8,554,606.56	4498	4.0	5.12	32.15	67.45	<0.001	N/A	4.0	5.12	32.15	67.45	<0.001	N/A	Bocamina Bienaventurada
S-5	501,749.50	8,555,186.15	4400	6.5	3.45	32.56	32.3	<0.001	N/A	6.5	3.45	32.56	32.3	<0.001	N/A	Bocamina Rampa
S-6	501,913.07	8,555,186.15	4473	3.5	4.56	34.23	45.5	<0.001	N/A	3.5	4.56	34.23	45.5	<0.001	N/A	Bocamina Rubio
S-8	502,228.61	8,555,755.27	4490	4.4	7.0	23.43	16.7	0.01	N/A	4.4	7.0	23.43	16.7	0.01	N/A	Bocamina Polvorín
S-9	501,741.75	8,555,719.40	4442	5.6	5.4	24.12	23.45	<0.001	N/A	5.6	5.4	24.12	23.45	<0.001	N/A	Bocamina San Inocente
S-10	501,833.25	8,555,822.65	4438	6.0	4.5	30.23	17.24	<0.001	N/A	6.0	4.5	30.23	17.24	<0.001	N/A	Ex Relavera Rubio
S-11	501,794.08	8,556,353.70	4374	3.87	4.2	19.45	14.2	<0.001	N/A	3.87	4.2	19.45	14.2	<0.001	N/A	Bocamina Fátima
S-13	501,220.75	8,556,205.80	4429	2.45	3.9	14.76	12.3	0.01	N/A	2.45	3.9	14.76	12.3	0.01	N/A	Bocamina Pepito
V-01	501609.231	8556191.164	4338.95	3.26	5.26	38.25	68.32	0.01	N/A	3.26	5.26	38.25	68.32	0.01	N/A	Efluente Poza de Regulación Planta NCD

Fuente: Propia

CUADRO N° 5.4.6
METALES DISUELTOS PRESENTES EN EL EFLUENTE ACIDO
ANTES DEL TRATAMIENTO OCTUBRE DEL 2008 A SETIEMBRE DEL 2009

PUNTOS MONITOREO	COORDENADAS		ALTURA	Metales mg/l (Absorción Atómica)												OBSERVACIONES
	Este	Norte	msnm	AGOSTO-2009						SETIEMBRE-2009						
				Pb	Cu	Zn	Fe	As	CN	Pb	Cu	Zn	Fe	As	CN	
S-2	500,408.48	8,554,229.50	4569	3.45	4.98	39.45	13.33	<0.001	N/A	3.45	4.98	39.45	13.33	<0.001	N/A	Bocamina Chonta
S-3	501,236.41	8,554,776.10	4499	4.55	6.21	43.24	25.45	0.01	N/A	4.55	6.21	43.24	25.45	0.01	N/A	Bocamina Victoria
S-4	502,188.34	8,554,606.56	4498	4.0	5.12	32.15	67.45	<0.001	N/A	4.0	5.12	32.15	67.45	<0.001	N/A	Bocamina Bienaventurada
S-5	501,749.50	8,555,186.15	4400	6.5	3.45	32.56	32.3	<0.001	N/A	6.5	3.45	32.56	32.3	<0.001	N/A	Bocamina Rampa
S-6	501,913.07	8,555,186.15	4473	3.5	4.56	34.23	45.5	<0.001	N/A	3.5	4.56	34.23	45.5	<0.001	N/A	Bocamina Rublo
S-8	502,228.61	8,555,755.27	4490	4.4	7.0	23.43	16.7	0.01	N/A	4.4	7.0	23.43	16.7	0.01	N/A	Bocamina Polvorín
S-9	501,741.75	8,555,719.40	4442	5.6	5.4	24.12	23.45	<0.001	N/A	5.6	5.4	24.12	23.45	<0.001	N/A	Bocamina San Inocente
S-10	501,833.25	8,555,822.65	4438	6.0	4.5	30.23	17.24	<0.001	N/A	6.0	4.5	30.23	17.24	<0.001	N/A	Ex Relavera Rublo
S-11	501,794.08	8,556,353.70	4374	3.87	4.2	19.45	14.2	<0.001	N/A	3.87	4.2	19.45	14.2	<0.001	N/A	Bocamina Fátima
S-13	501,220.75	8,556,205.80	4429	2.45	3.9	14.76	12.3	0.01	N/A	2.45	3.9	14.76	12.3	0.01	N/A	Bocamina Pepito
V-01	501609.231	8556191.164	4338.95	3.26	5.26	38.25	68.32	0.01	N/A	3.26	5.26	38.25	68.32	0.01	N/A	Efluente Poza de Regulación Planta NCD

Fuente: Propia

CUADRO N° 5.5
PARÁMETROS DEL EFLUENTE DESPUÉS DEL TRATAMIENTO EN LA PLANTA NCD
OCTUBRE DEL 2008 A SETIEMBRE DEL 2009

PUNTOS MONITOREO	COORDENADAS		ALTURA A MSNM	PARAMETROS	MESES												OBSERVACIONES
	ESTE	NORTE			OCT 2008	NOV 2008	DIC 2008	ENE 2009	FEB 2009	MAR 2009	ABR 2009	MAY 2009	JUN 2009	JUL 2009	AGO 2009	SET 2009	
V-01	501609.23 1	8556191.16 4	4338.95	CAUDAL (l/s)	39.7	39.5	40	39.5	39.7	40.5	39.3	40.	39.9	39.4	39.4	40.3	Efluente Poza de Regulación Planta NCD
				pH	8.78	8.76	8.36	8.67	8.93	8.56	8.45	8.88	8.85	9.0	8.88	8.87	
				SST (mg / l)	8.25	7.65	10.2 4	9.45	8.80	9.80	9.87	8.78	9.98	6.6 7	5.80	6.12	

Fuente: Propia

CUADRO Nº 5.6
METALES DISUELTOS DEL EFLUENTE
DESPUES DEL TRATAMIENTO OCTUBRE DEL 2008 A SETIEMBRE DEL 2009

PUNTOS MONITOREO	COORDENADAS		ALTURA msnm	MES - AÑO	Metales disueltos					OBSERVACIONES
	Este	Norte			mg/l					
V-01	501609.231	8556191.164	4338.95		Pb	Cu	Zn	Fe	As	Efluente Poza de Regulación Planta NCD
				OCT-2008	0.02	0.01	0.5	0.01	0.01	
				NOV-2008	0.01	0.01	0.1	0.01	0.01	
				DIC- 2008	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	
				ENE -2009	0.01	0.01	0.5	0.01	0.01	
				FEB- 2009	0.02	0.01	0.3	0.01	0.01	
				MAR-2009	0.02	0.01	0.2	0.01	0.01	
				ABR-2009	0.01	0.01	0.1	0.01	0.01	
				MAY-2009	0.01	0.01	0.4	0.01	0.01	
				JUN-2009	0.01	0.01	0.6	0.01	0.01	
				JUL-2009	0.02	0.01	0.3	0.01	0.01	
				AGO2009	0.02	0.01	0.2	0.01	0.01	
SET-2009	0.02	0.01	0.3	0.01	0.01					

Fuente: Propia

GRÁFICOS

GRAFICO 5.4.1

Evaluación de plomo en las estaciones de monitoreo octubre del 2008

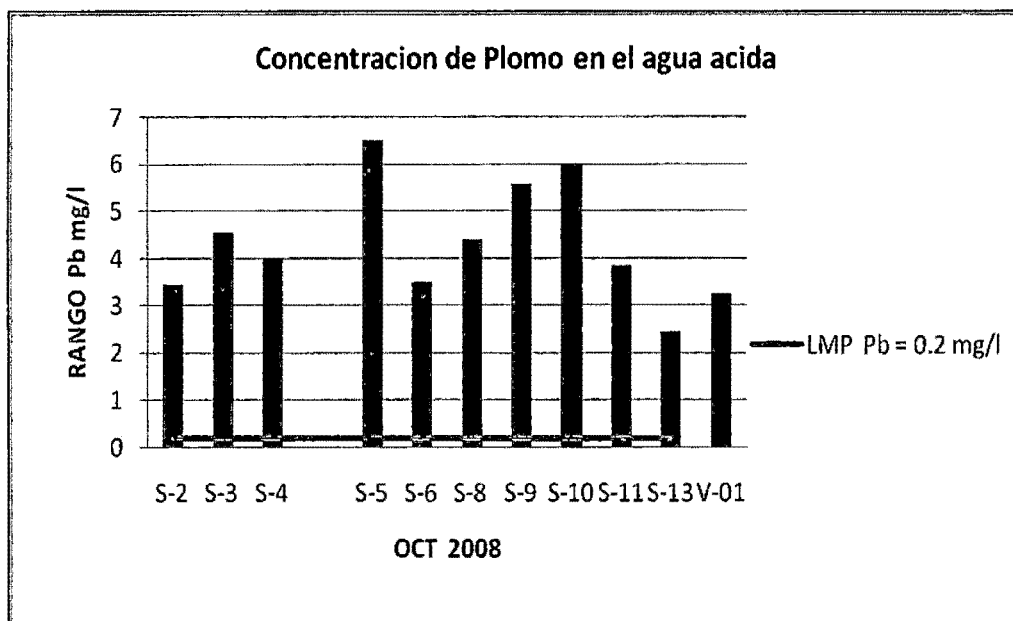


GRAFICO 5.4.2

Evaluación de cobre en las estaciones de monitoreo octubre del 2008

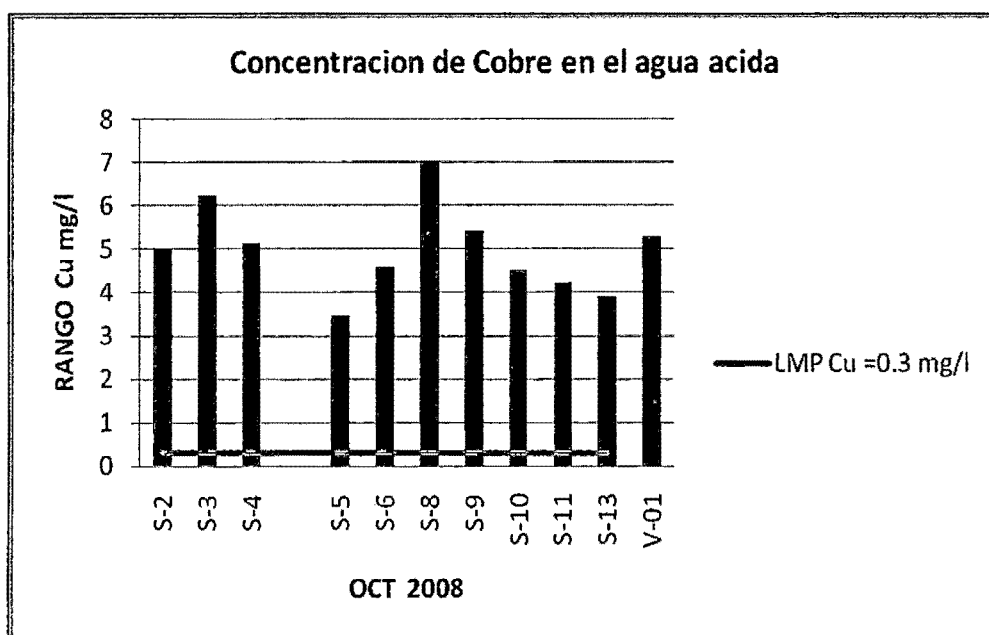


GRAFICO 5.4.3

Evaluación de zinc en las estaciones de monitoreo octubre del 2008

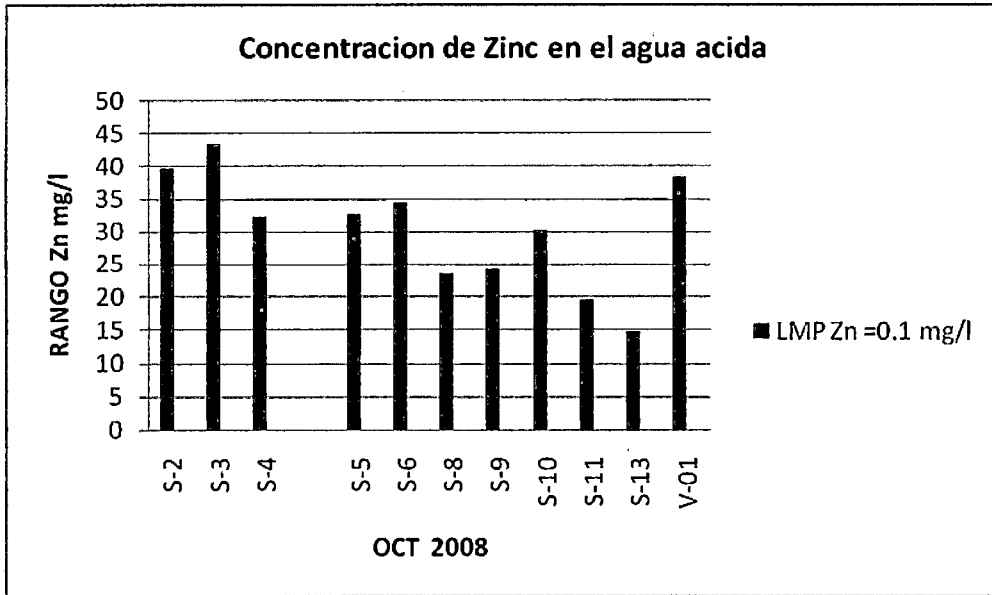


GRAFICO 5.4.4

Evaluación de fierro en las estaciones de monitoreo octubre del 2008

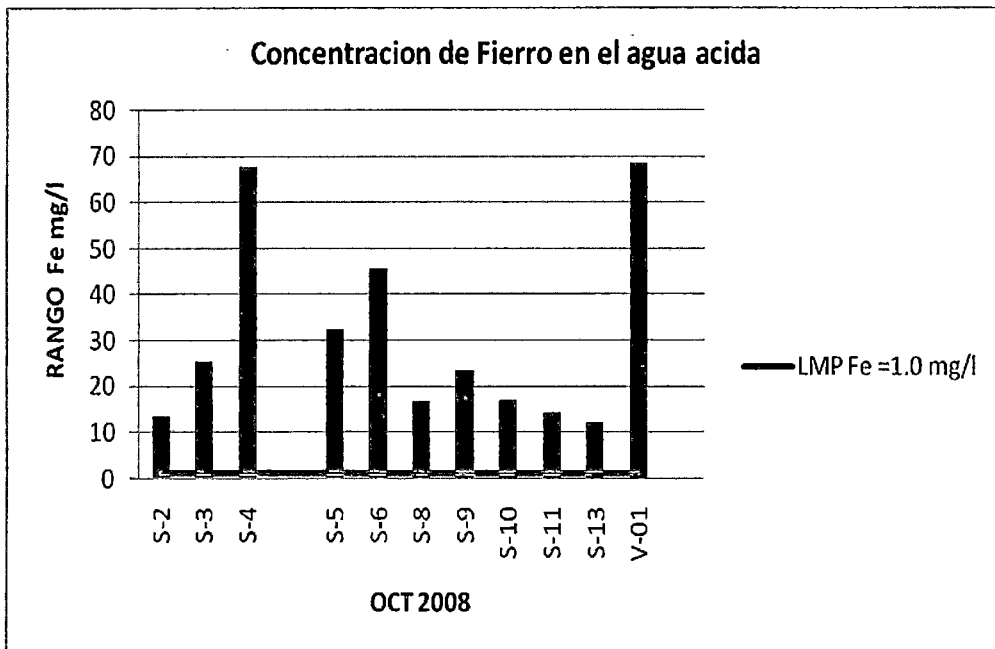


GRAFICO 5.4.5

Evaluación de arsénico en las estaciones de monitoreo octubre del 2008

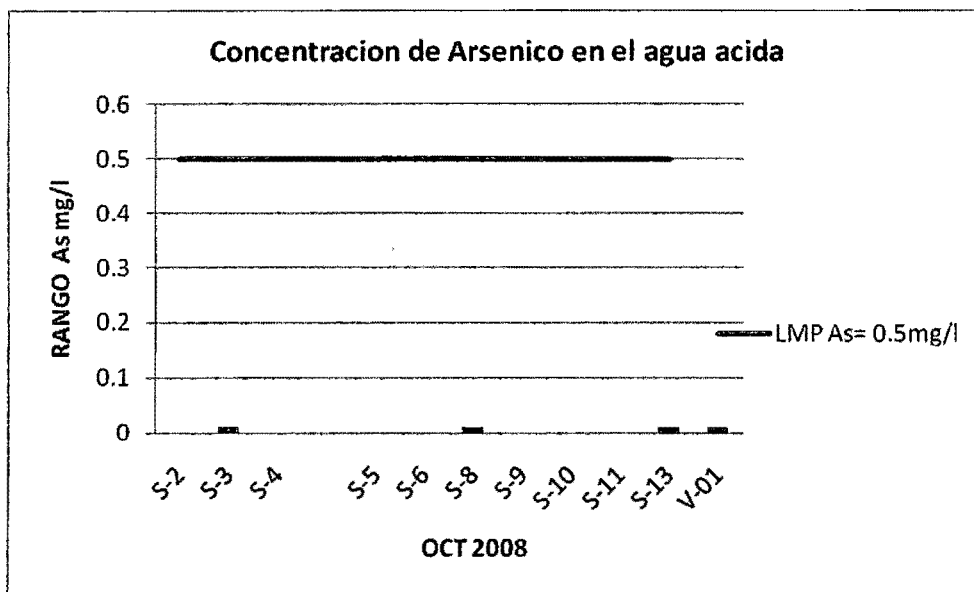


GRAFICO 5.4.6

Evaluación de cianuro total en las estaciones de monitoreo octubre del 2008

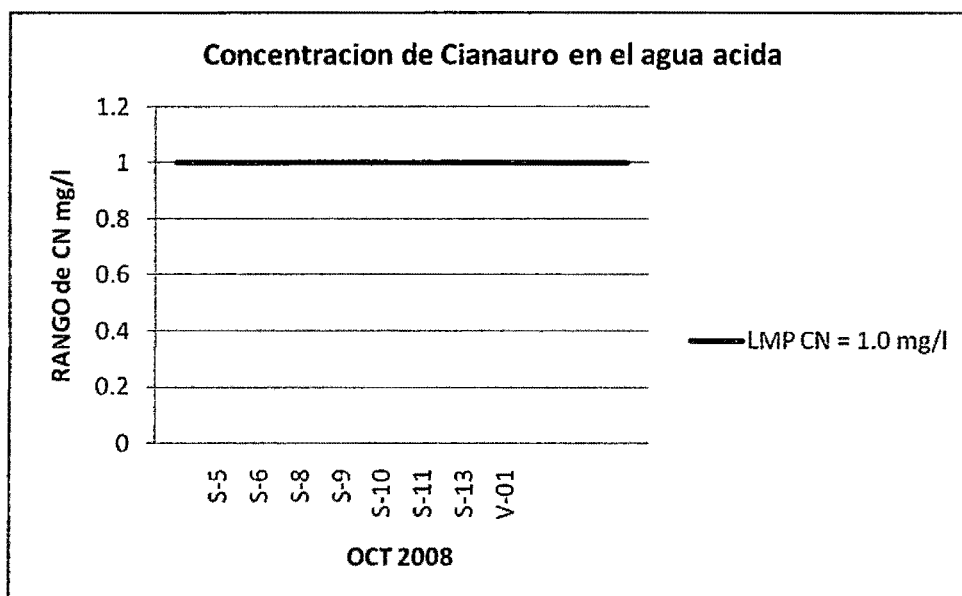


GRAFICO 5.4.7

Evaluación de plomo en las estaciones de monitoreo Noviembre del 2008

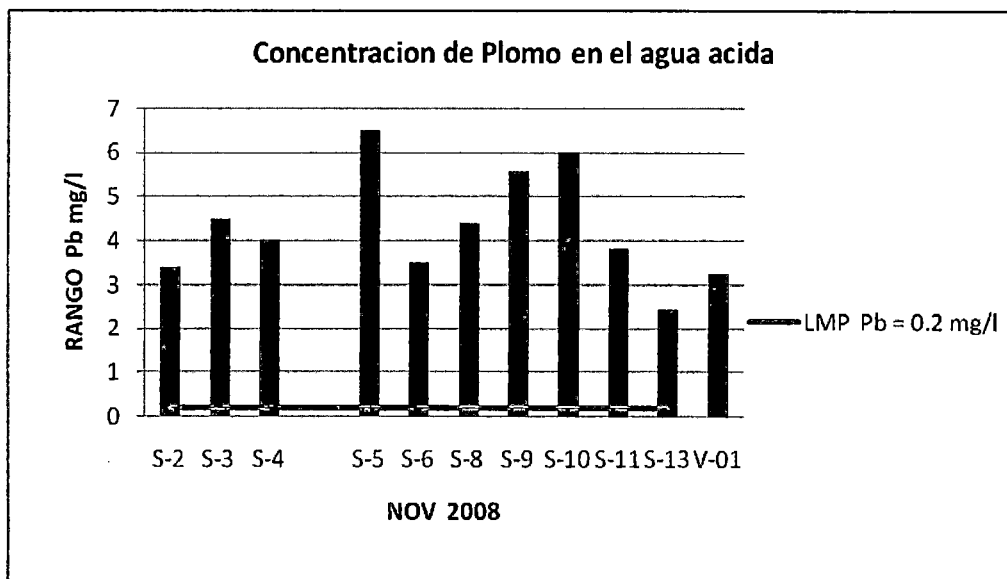


GRAFICO 5.4.8

Evaluación de cobre en las estaciones de monitoreo Noviembre del 2008

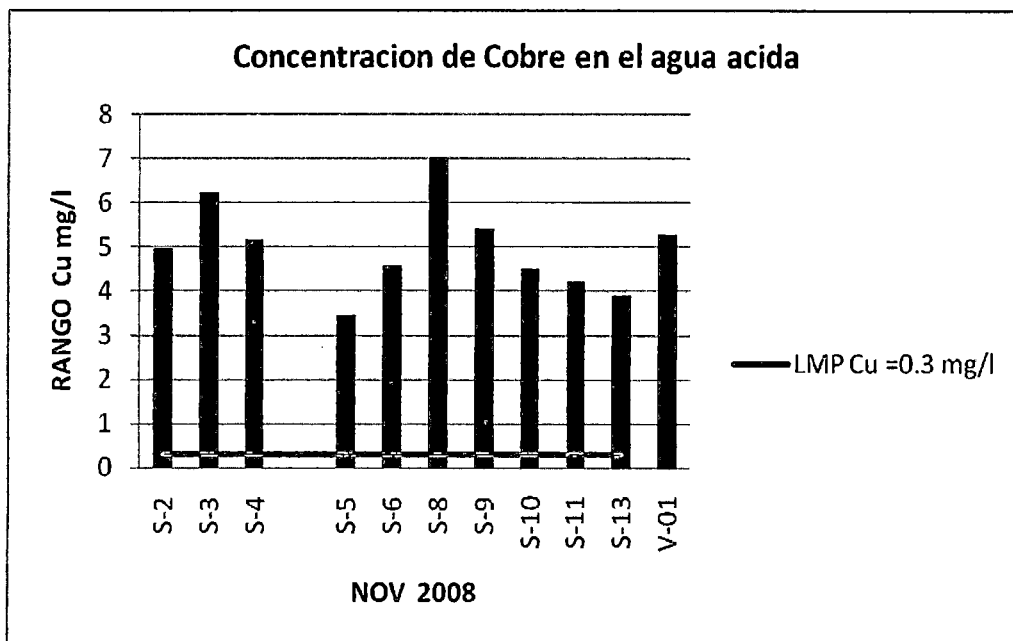


GRAFICO 5.4.9

Evaluación de zinc en las estaciones de monitoreo Noviembre del 2008

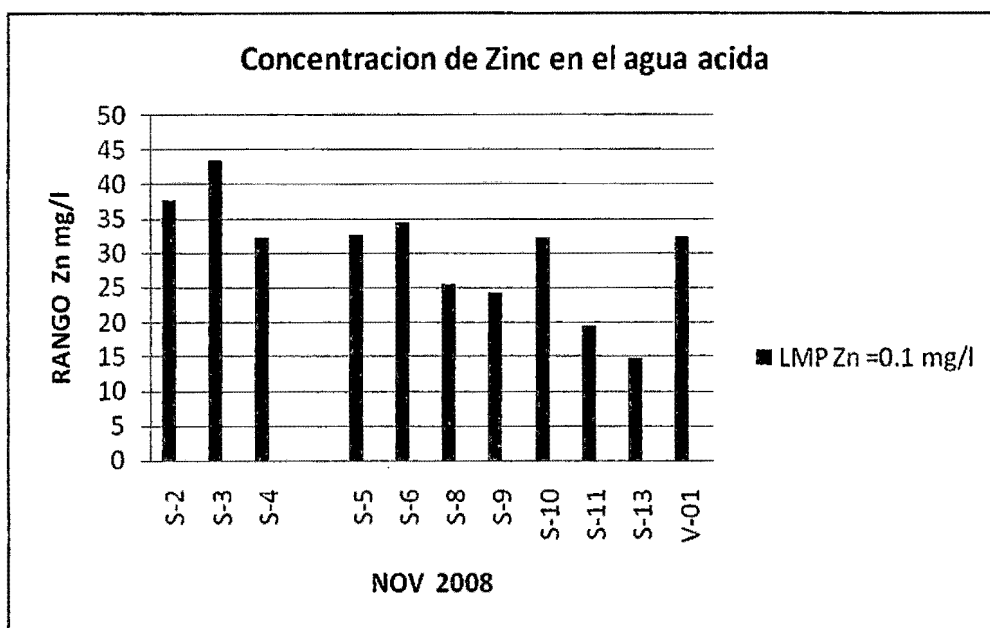


GRAFICO 5.4.10

Evaluación de fierro en las estaciones de monitoreo Noviembre del 2008

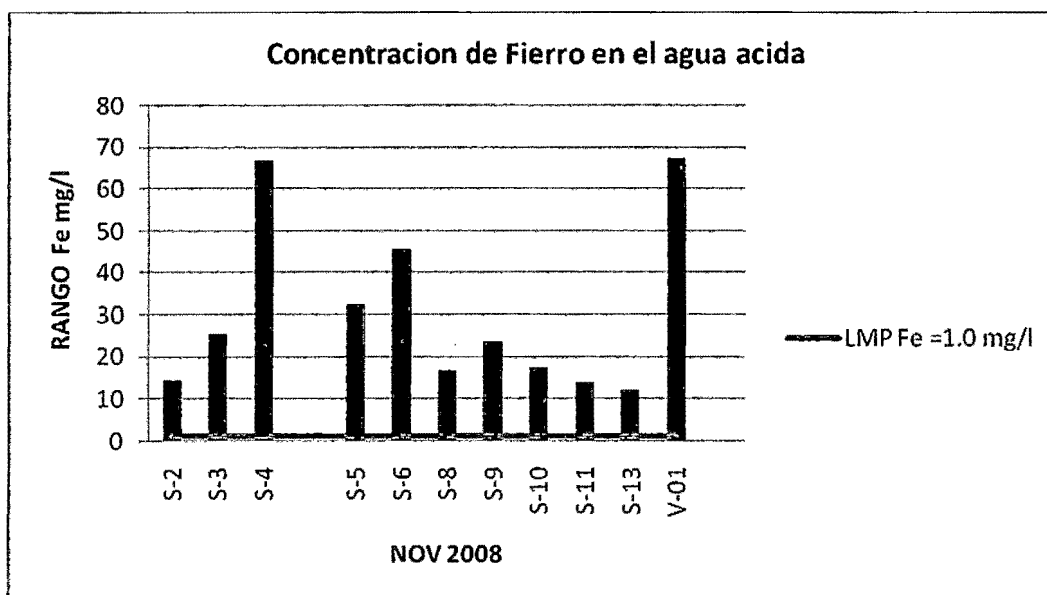


GRAFICO 5.4.11

Evaluación de arsénico en las estaciones de monitoreo Noviembre del 2008

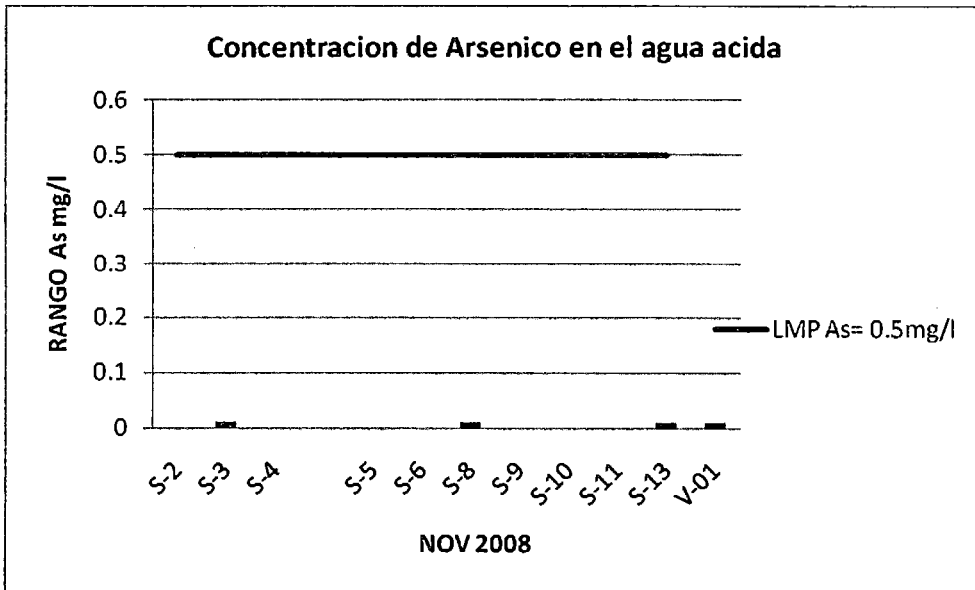


GRAFICO 5.4.12

Evaluación de cianuro total en las estaciones de monitoreo Noviembre del 2008

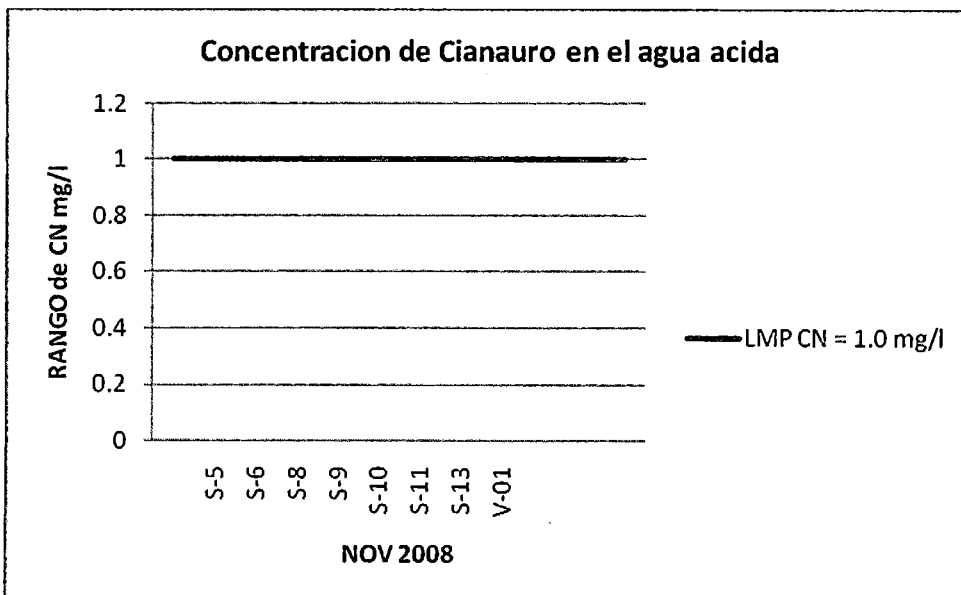


GRAFICO 5.4.13

Evaluación de plomo en las estaciones de monitoreo Diciembre del 2008

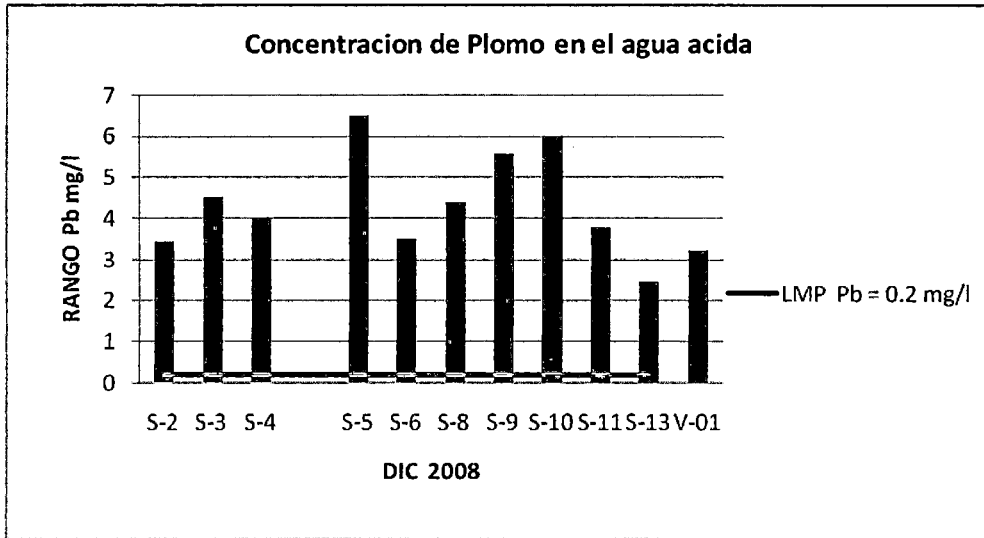


GRÁFICO 5.4.14

Evaluación de cobre en las estaciones de monitoreo Diciembre del 2008

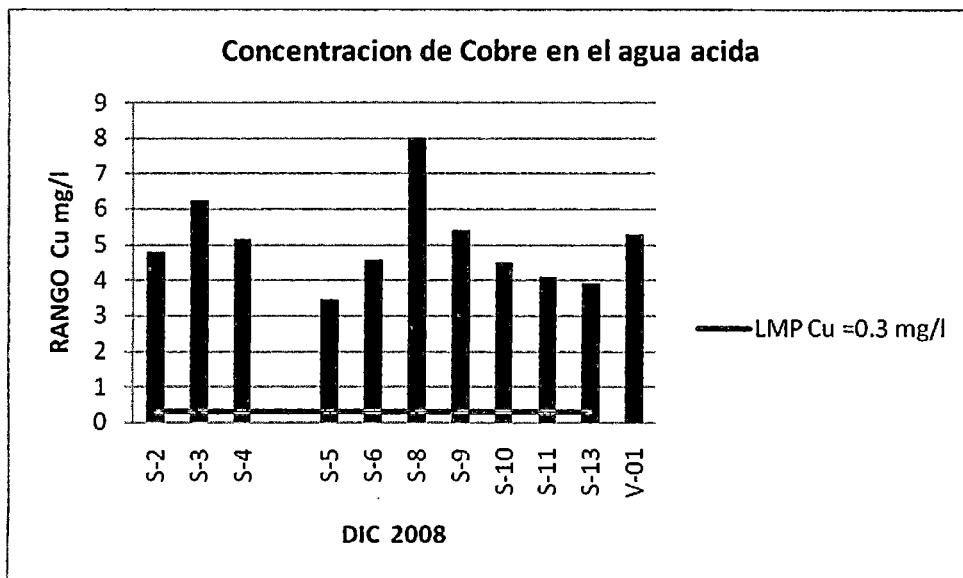


GRAFICO 5.4.15

Evaluación de zinc en las estaciones de monitoreo Diciembre del 2008

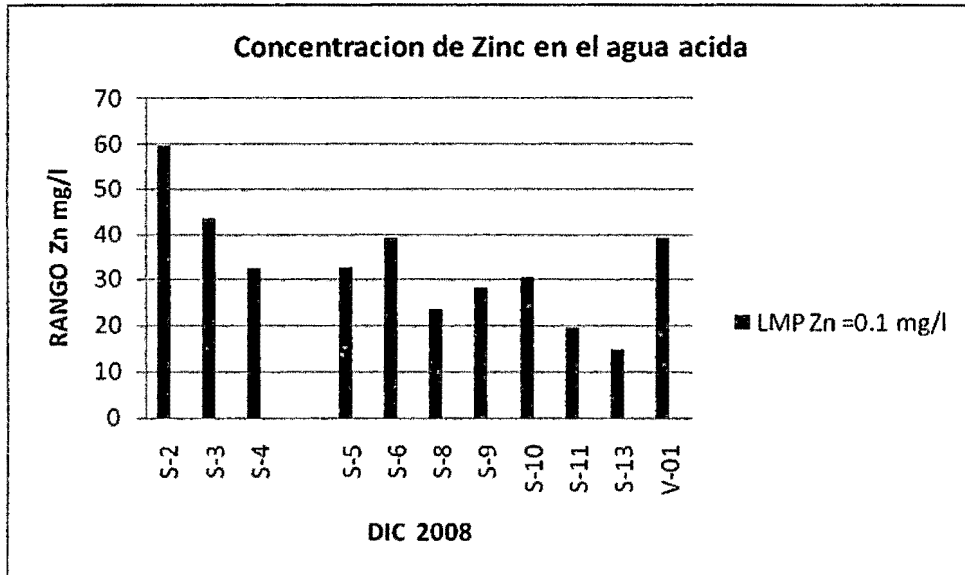


GRAFICO 5.4.16

Evaluación de fierro en las estaciones de monitoreo Diciembre del 2008

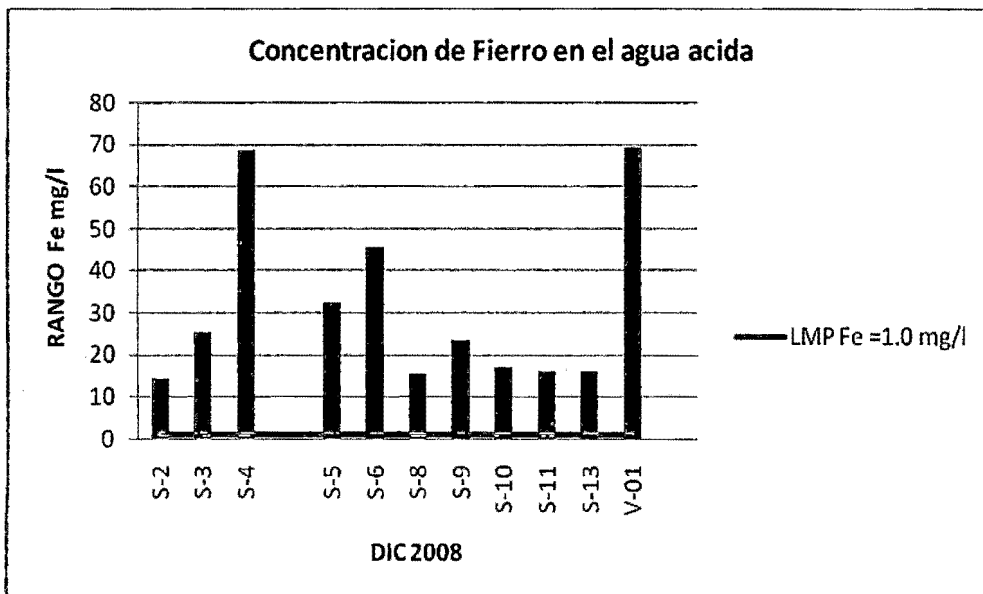


GRAFICO 5.4.17

Evaluación de arsénico en las estaciones de monitoreo Diciembre del 2008

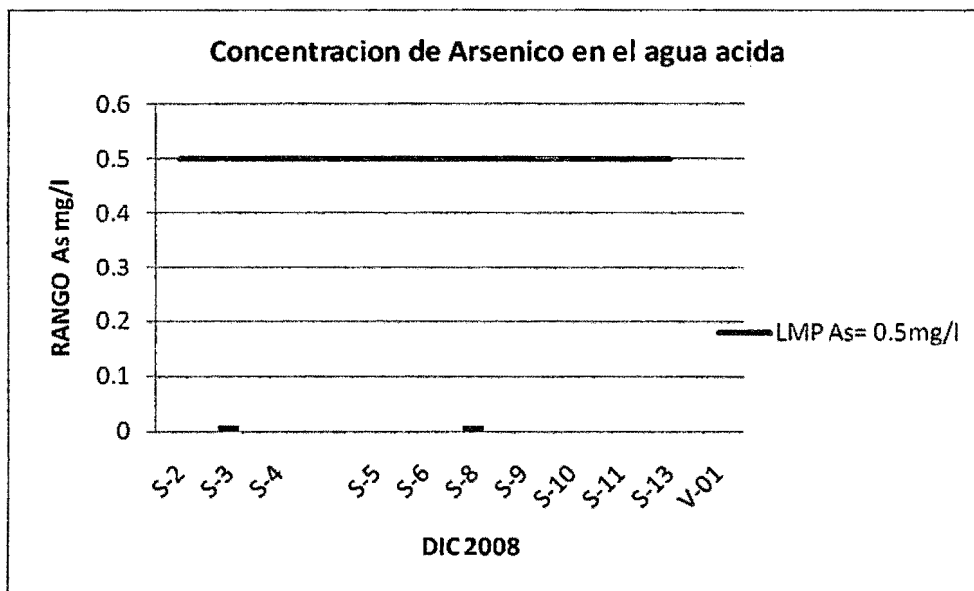


GRÁFICO 5.4.18

Evaluación de cianuro total en las estaciones de monitoreo Diciembre del 2008

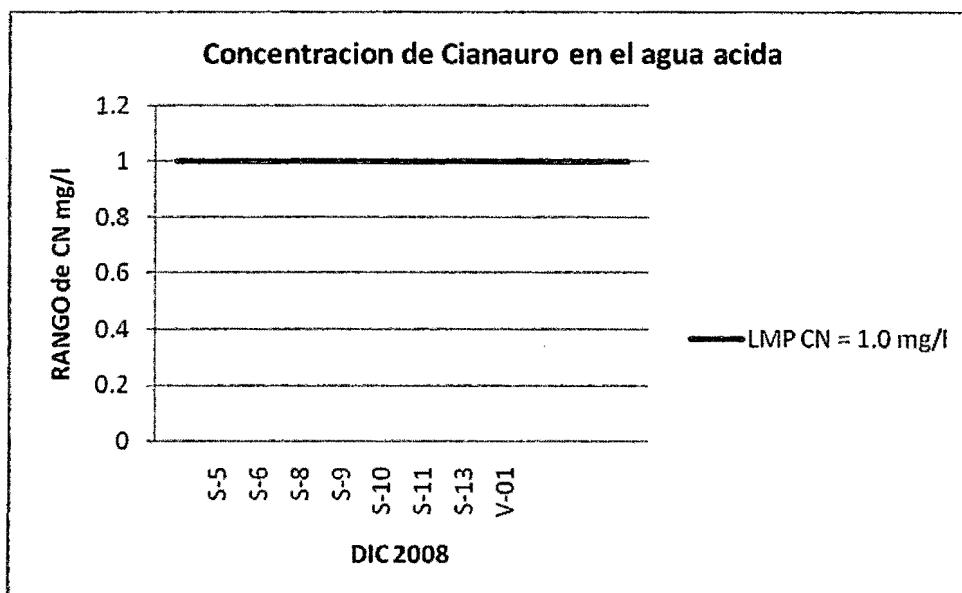


GRAFICO 5.4.19

Evaluación de plomo en las estaciones de monitoreo Enero del 2009

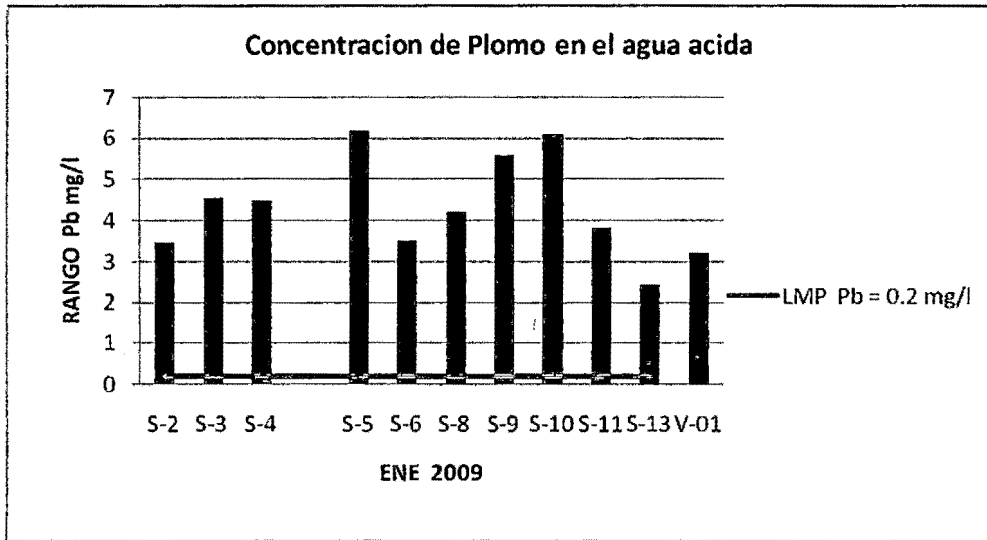


GRAFICO 5.4.20

Evaluación de cobre en las estaciones de monitoreo Enero del 2009

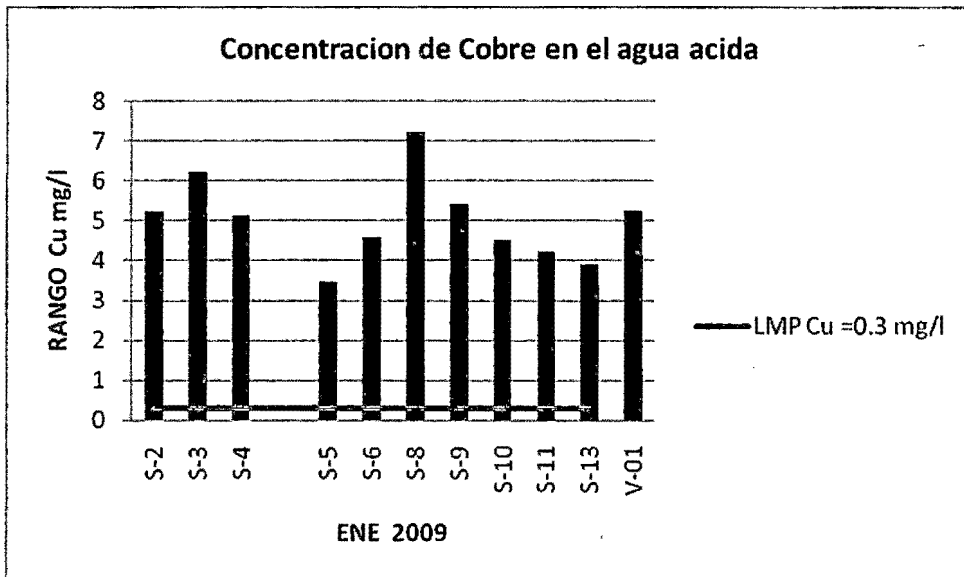


GRAFICO 5.4.21

Evaluación de zinc en las estaciones de monitoreo Enero del 2009

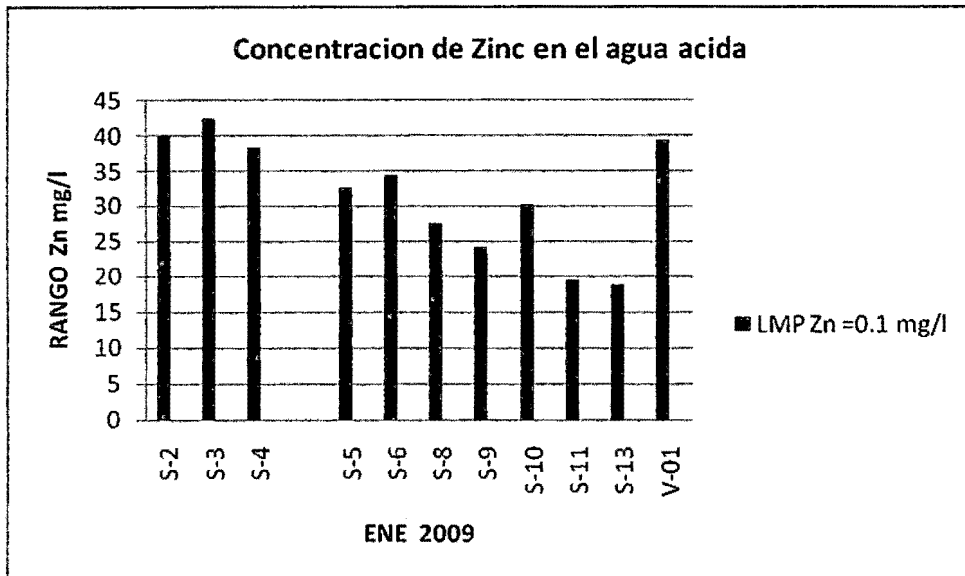


GRAFICO 5.4.22

Evaluación de fierro en las estaciones de monitoreo Enero del 2009

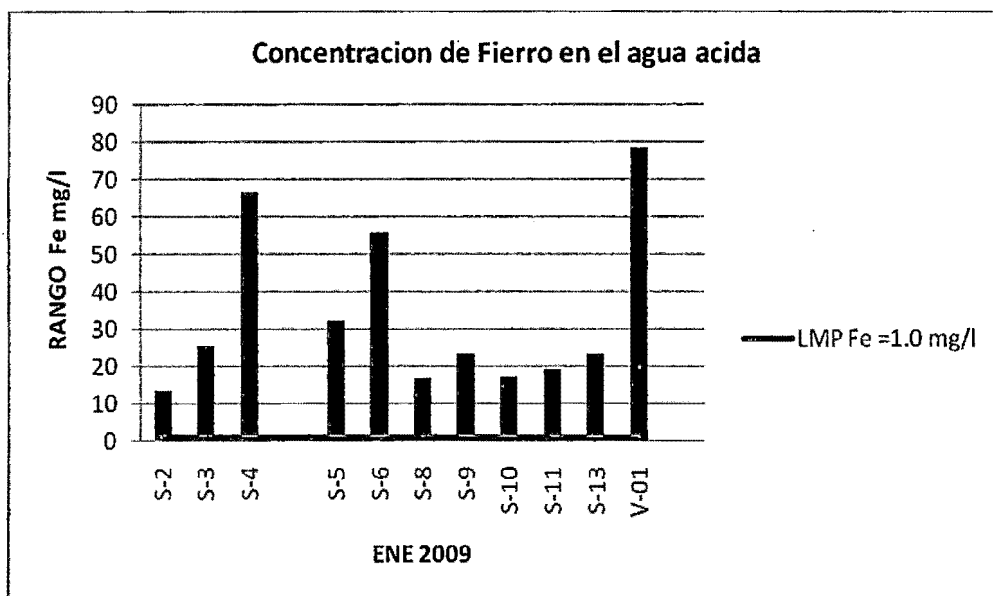


GRAFICO 5.4.23

Evaluación de arsénico en las estaciones de monitoreo Enero del 2009

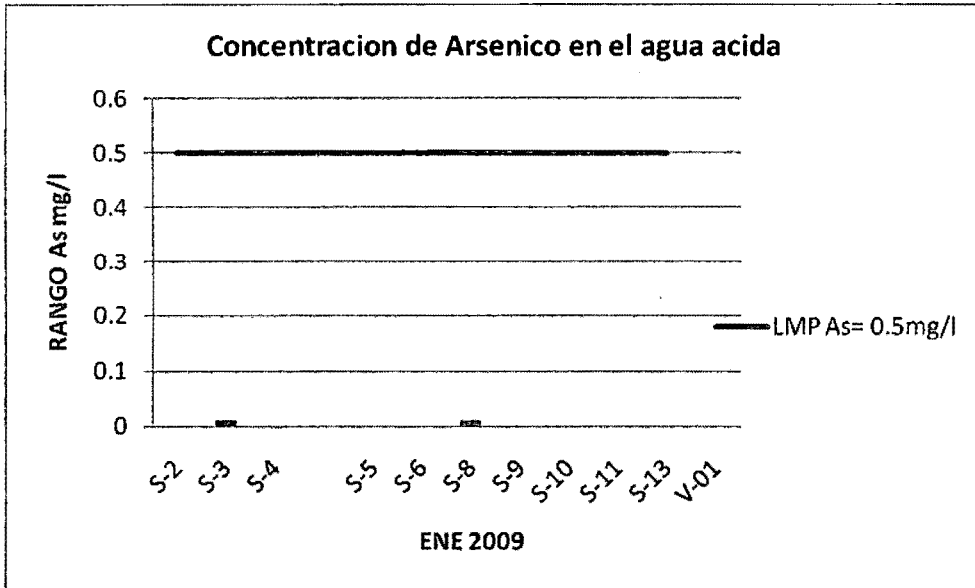


GRAFICO 5.4.24

Evaluación de cianuro total en las estaciones de monitoreo Enero del 2009

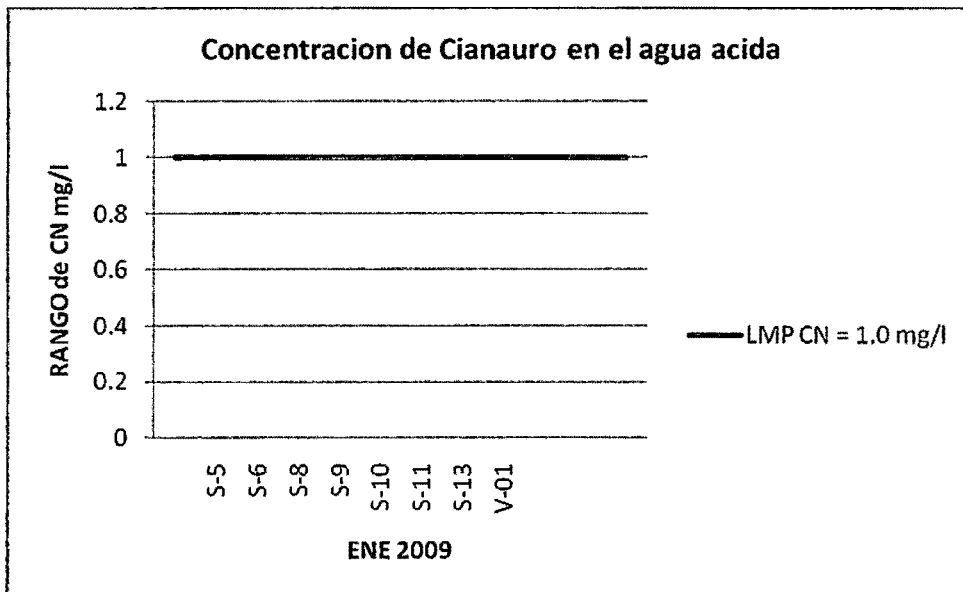


GRAFICO 5.4.25

Evaluación de plomo en las estaciones de monitoreo Febrero del 2009

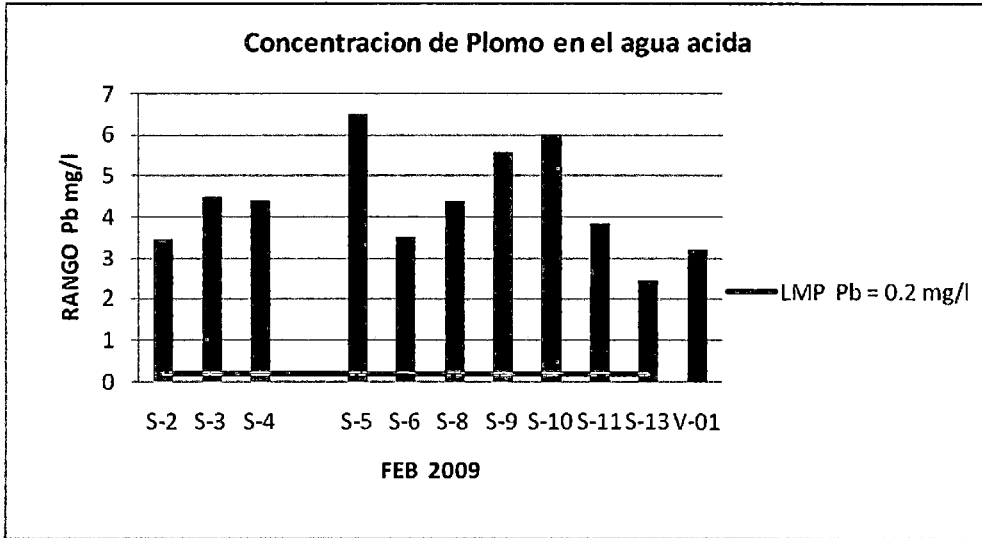


GRAFICO 5.4.26

Evaluación de cobre en las estaciones de monitoreo Febrero del 2009

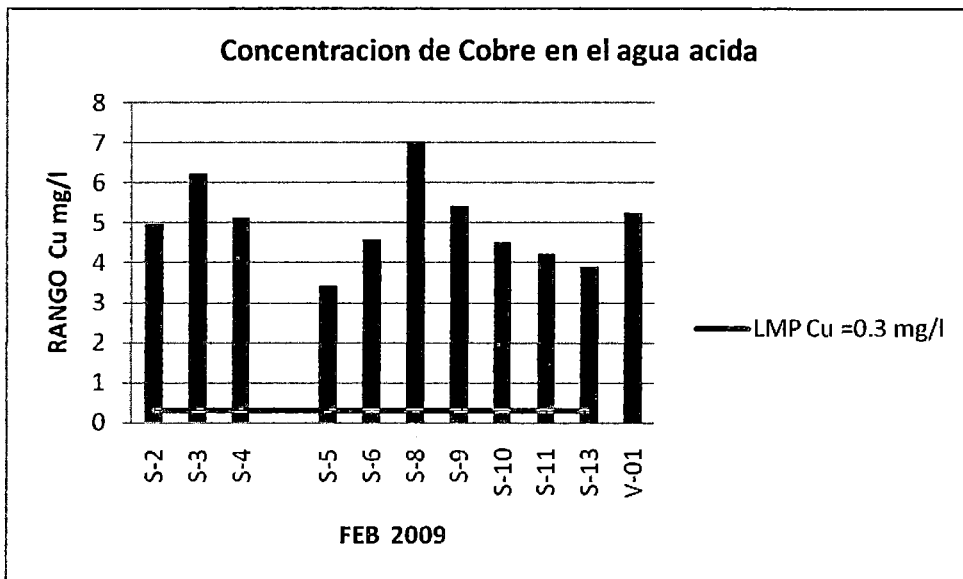


GRAFICO 5.4.27

Evaluación de zinc en las estaciones de monitoreo Febrero del 2009

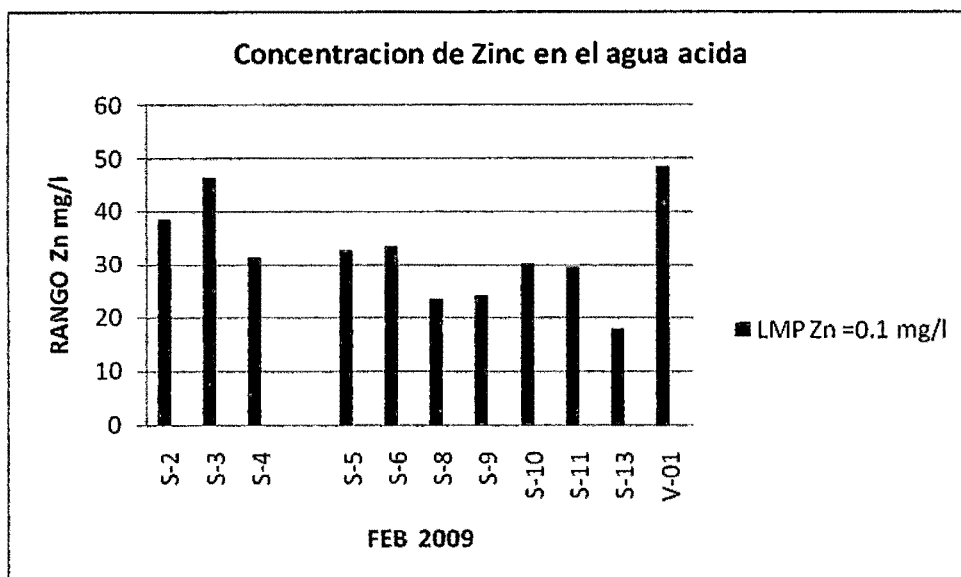


GRAFICO 5.4.28

Evaluación de fierro en las estaciones de monitoreo Febrero del 2009

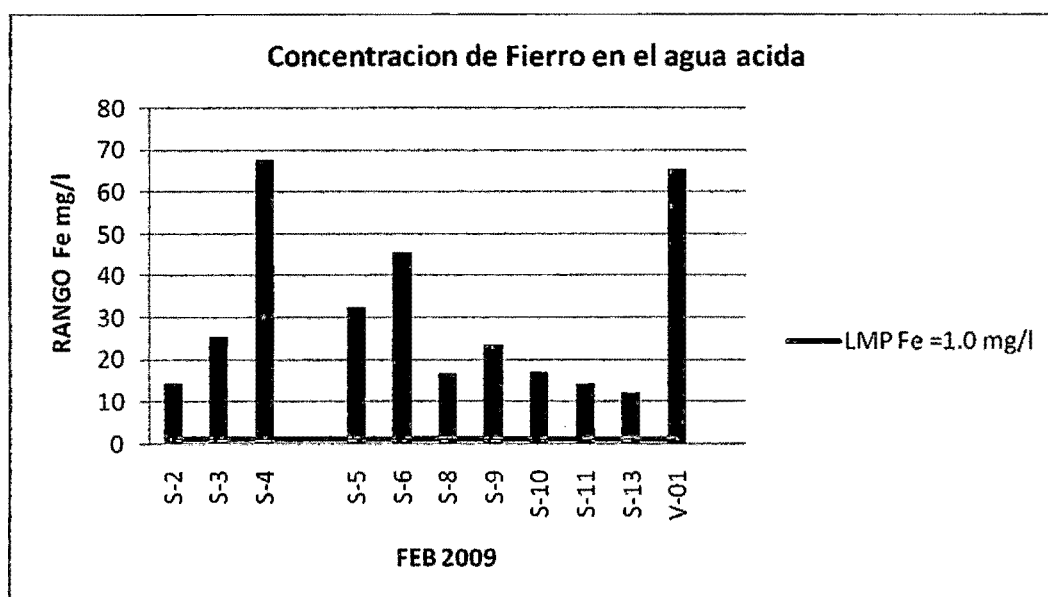


GRAFICO 5.4.29

Evaluación de arsénico en las estaciones de monitoreo Febrero del 2009

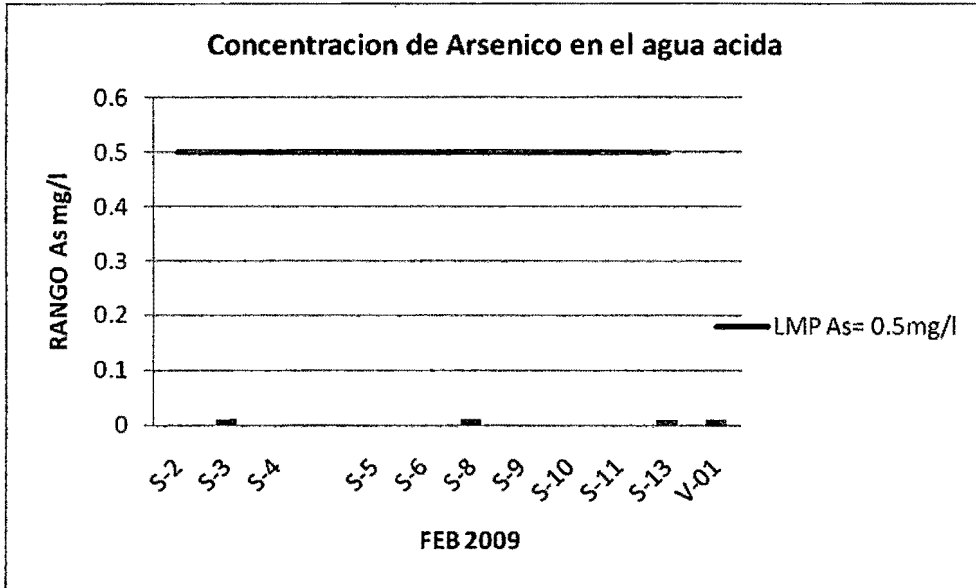


GRAFICO 5.4.30

Evaluación de cianuro total en las estaciones de monitoreo Febrero del 2009

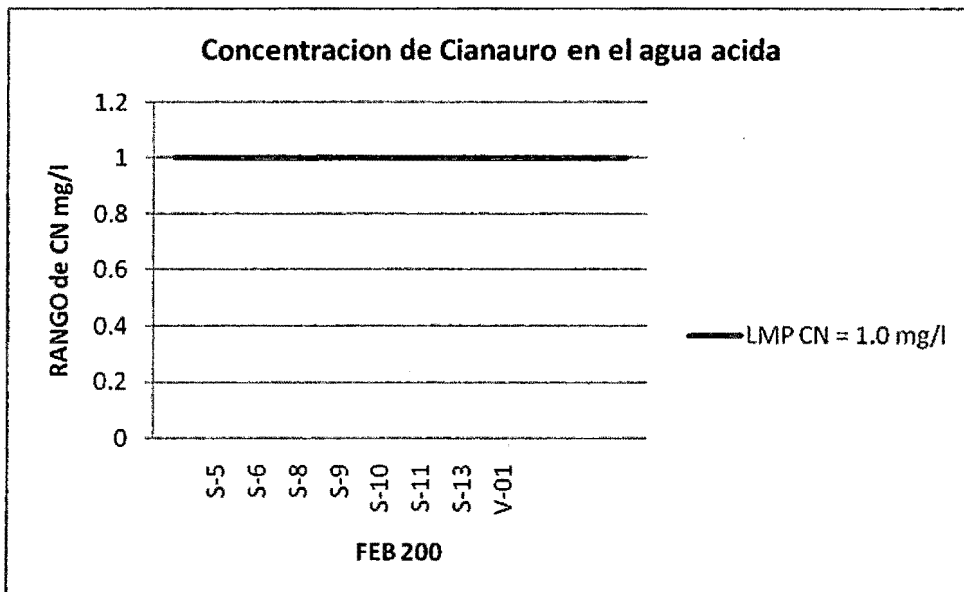


GRAFICO 5.4.31

Evaluación de plomo en las estaciones de monitoreo Marzo del 2009

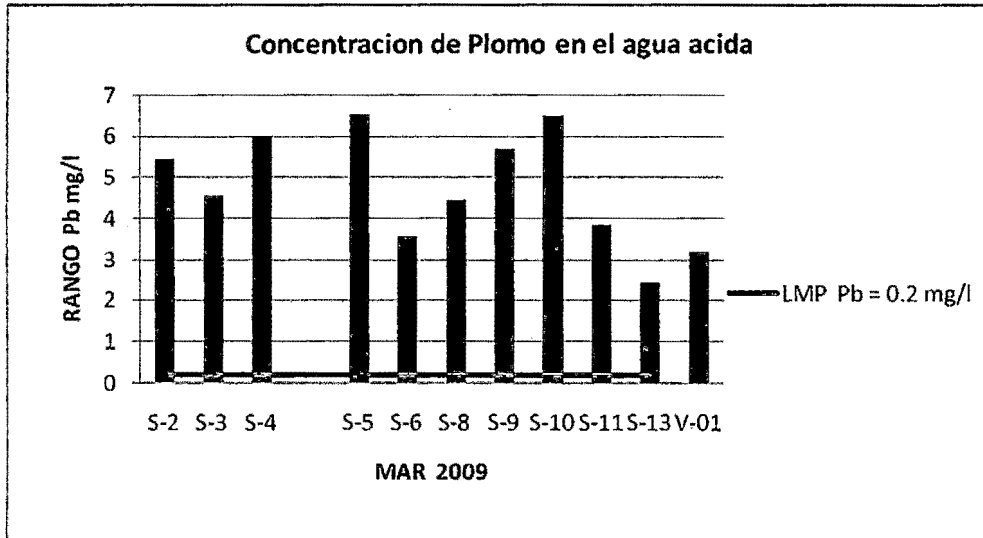


GRAFICO 5.4.32

Evaluación de cobre en las estaciones de monitoreo Marzo del 2009

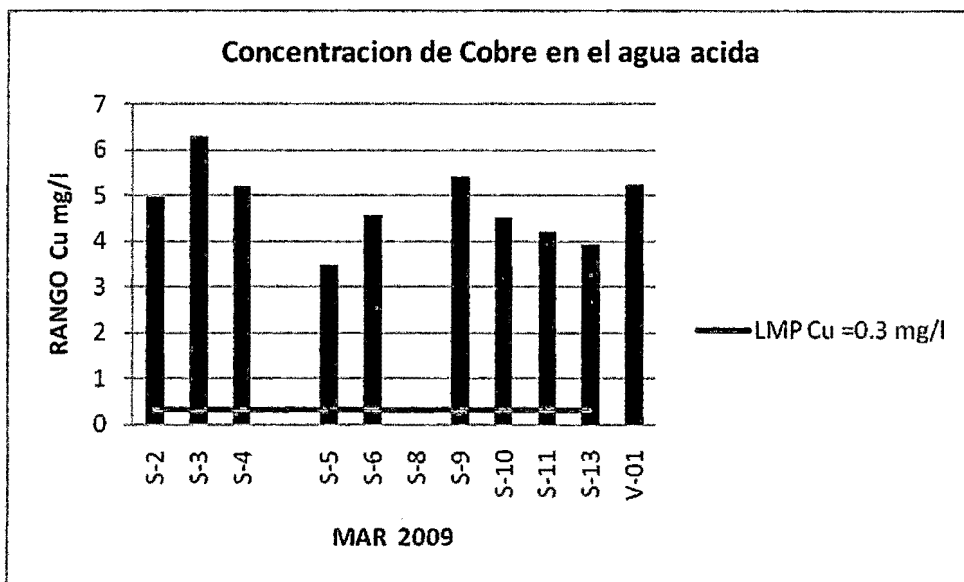


GRAFICO 5.4.33

Evaluación de zinc en las estaciones de monitoreo Marzo del 2009

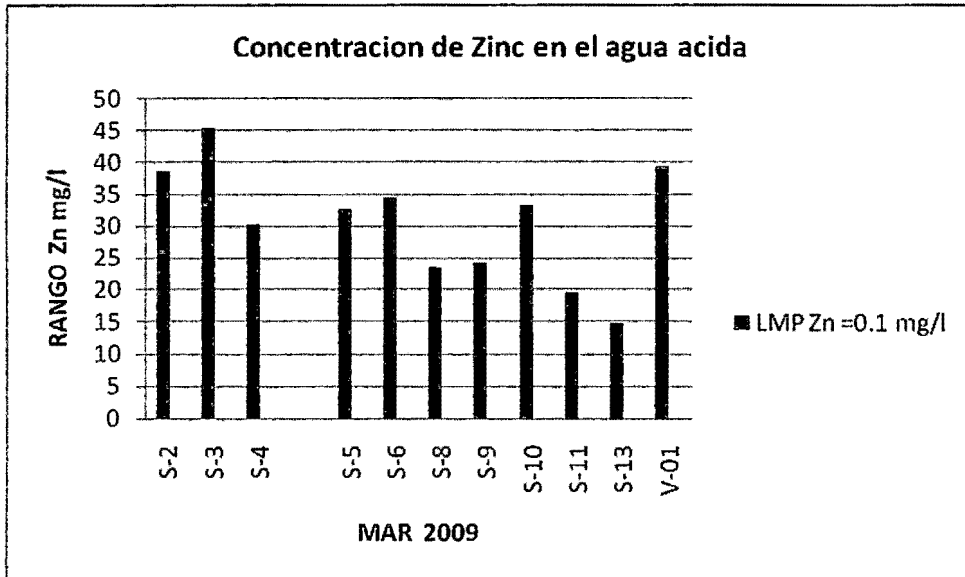


GRAFICO 5.4.34

Evaluación de fierro en las estaciones de monitoreo Marzo del 2009

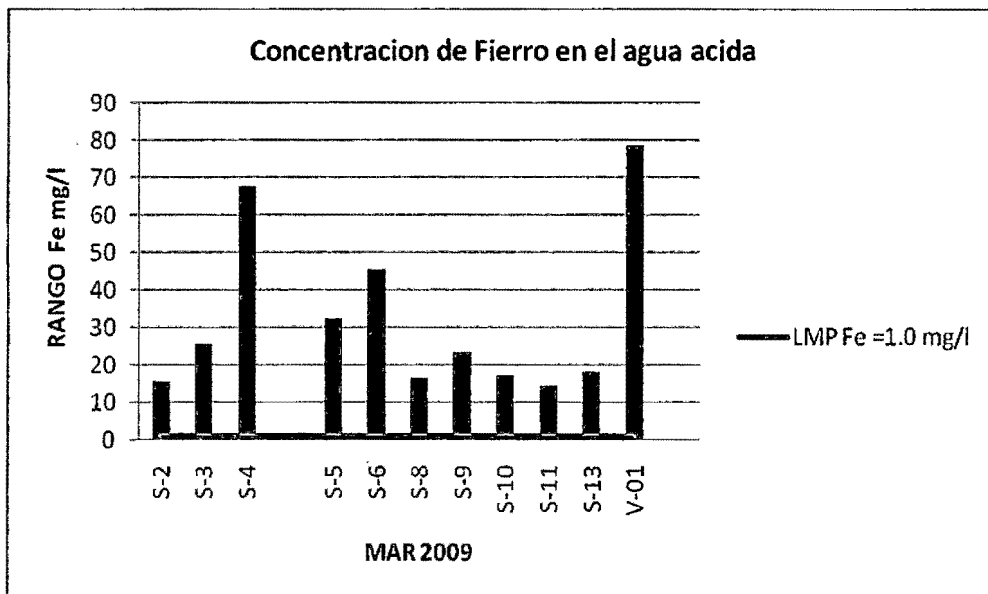


GRAFICO 5.4.35

Evaluación de arsénico en las estaciones de monitoreo Marzo del 2009

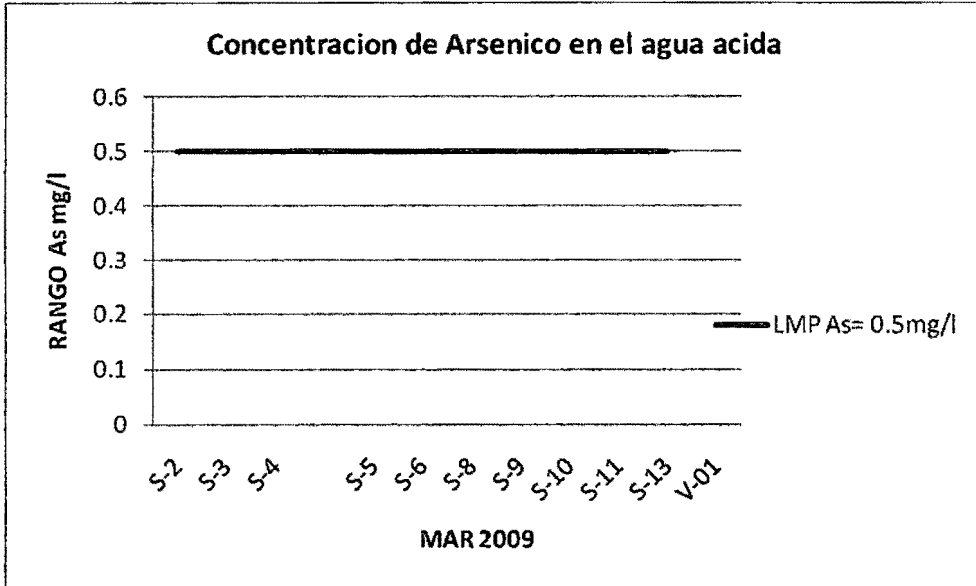


GRAFICO 5.4.36

Evaluación de cianuro total en las estaciones de monitoreo Marzo del 2009

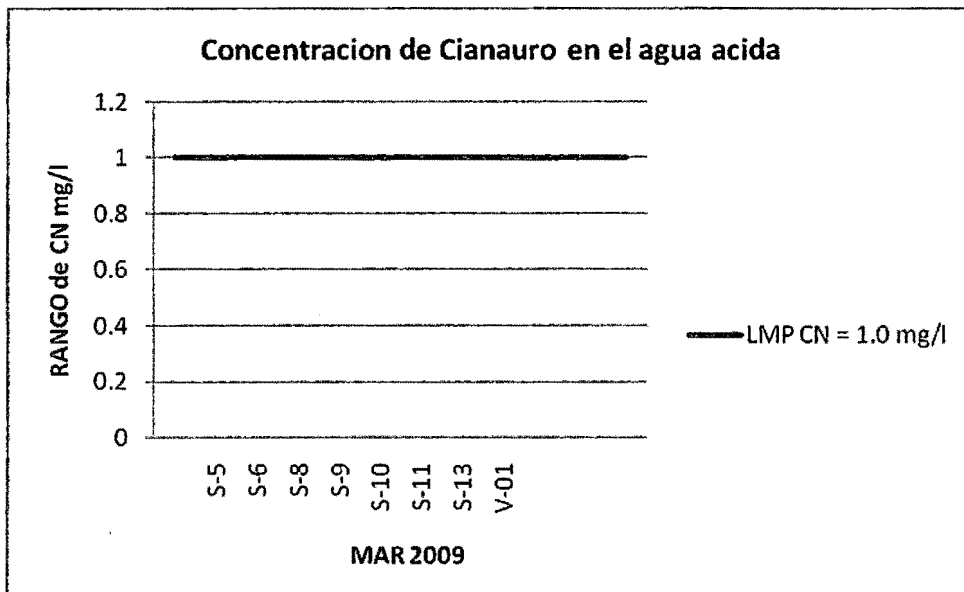


GRAFICO 5.4.37

Evaluación de plomo en las estaciones de monitoreo Abril del 2009

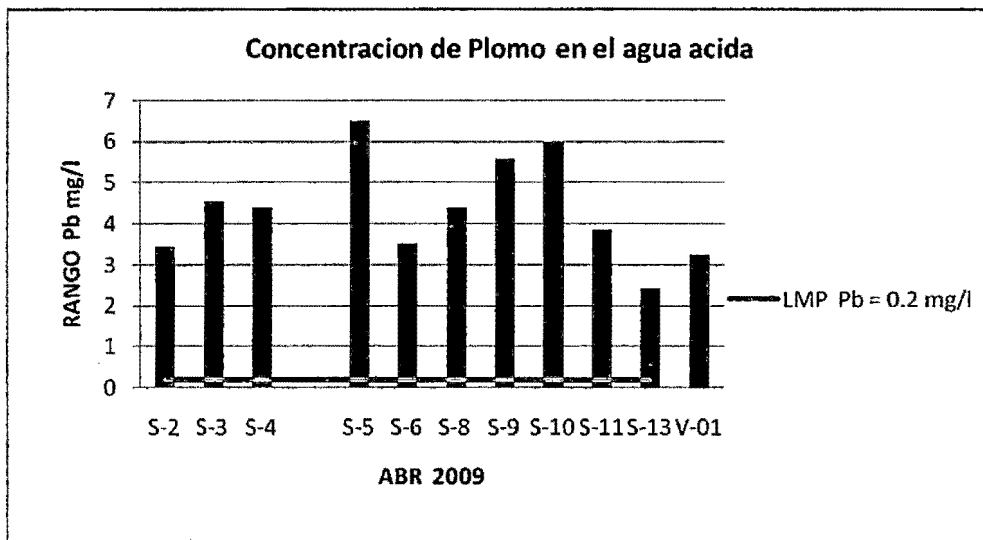


GRAFICO 5.4.38

Evaluación de cobre en las estaciones de monitoreo Abril del 2009

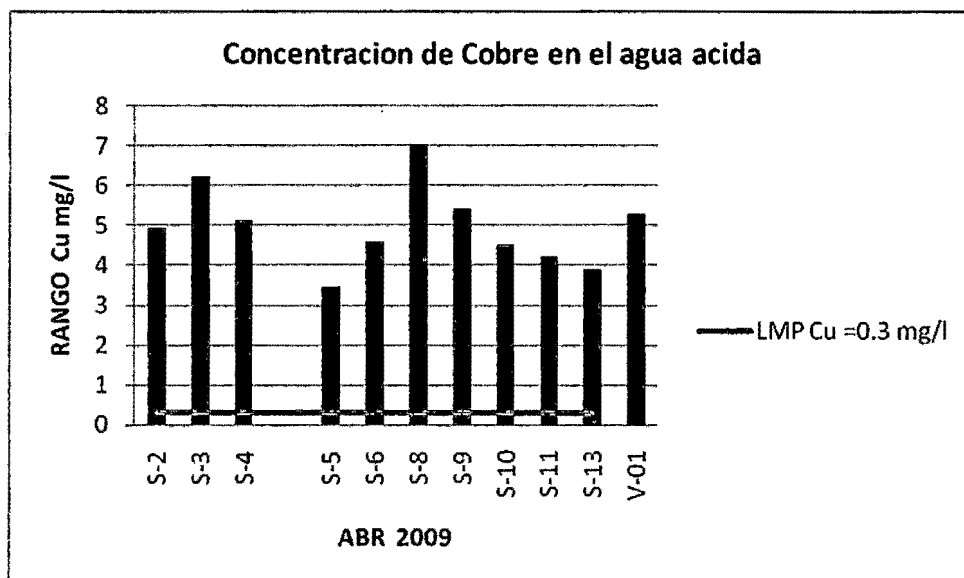


GRAFICO 5.4.39

Evaluación de zinc en las estaciones de monitoreo Abril del 2009

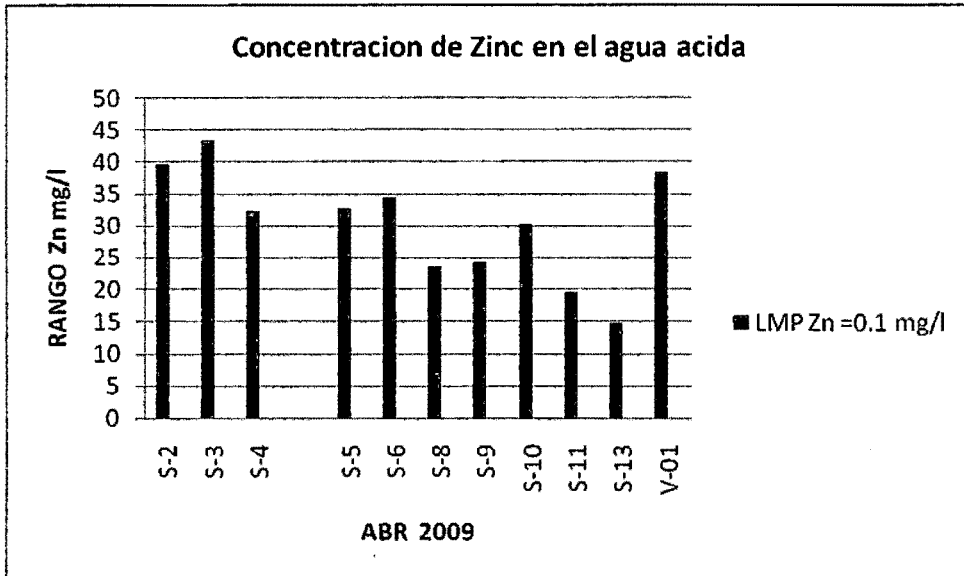


GRAFICO 5.4.40

Evaluación de fierro en las estaciones de monitoreo Abril del 2009

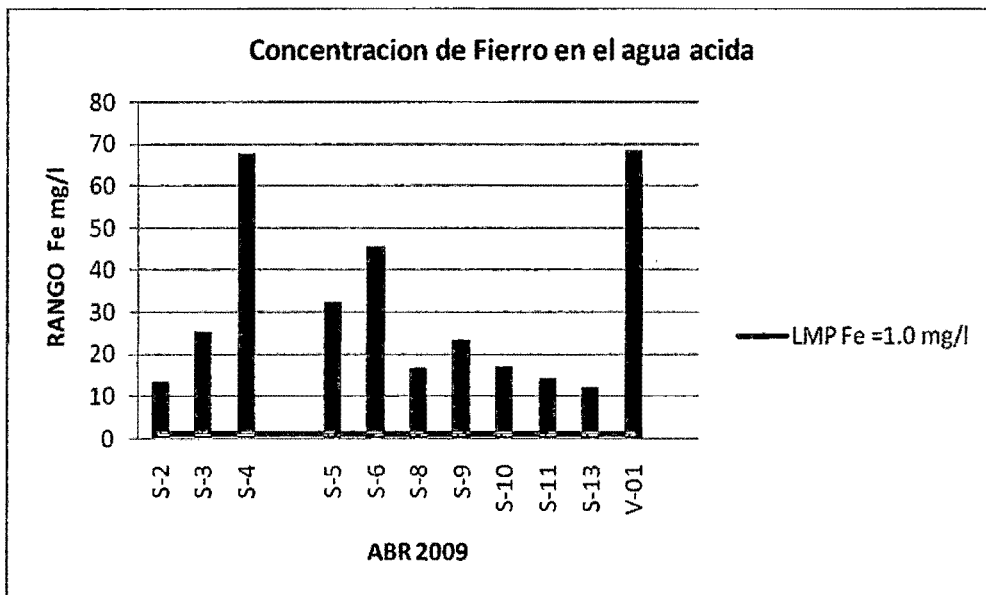


GRAFICO 5.4.41

Evaluación de arsénico en las estaciones de monitoreo Abril del 2009

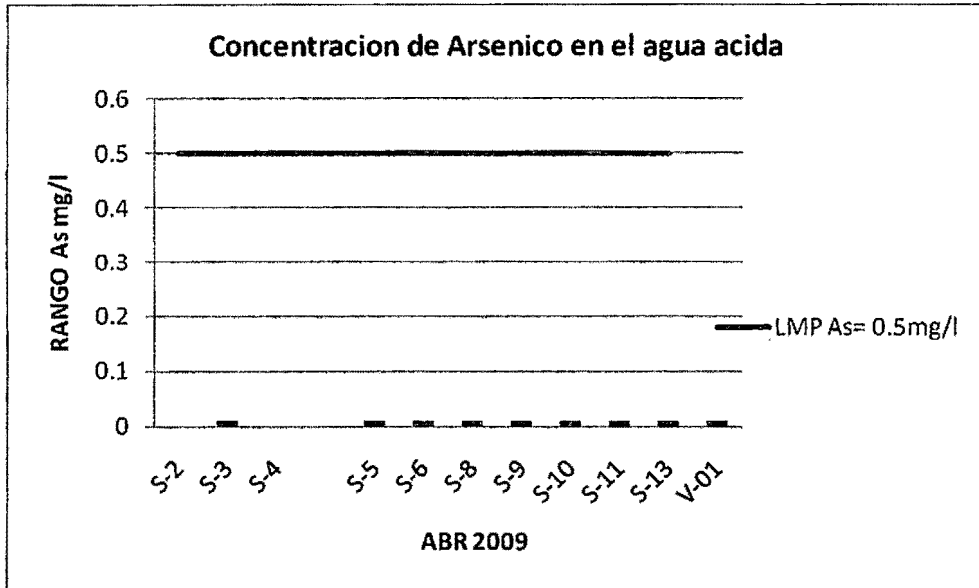


GRAFICO 5.4.42

Evaluación de cianuro total en las estaciones de monitoreo Abril del 2009

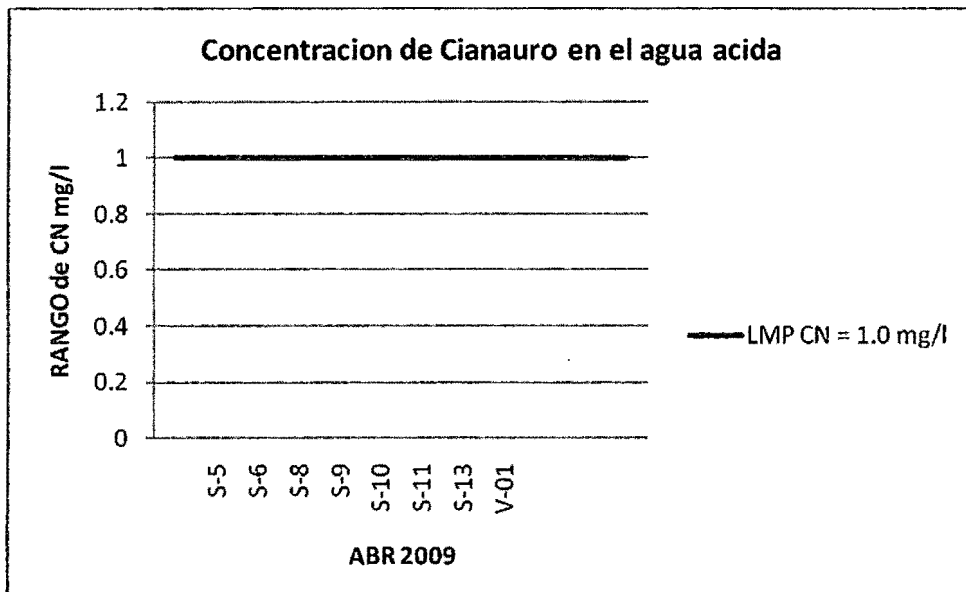


GRAFICO 5.4.43

Evaluación de plomo en las estaciones de monitoreo Mayo del 2009

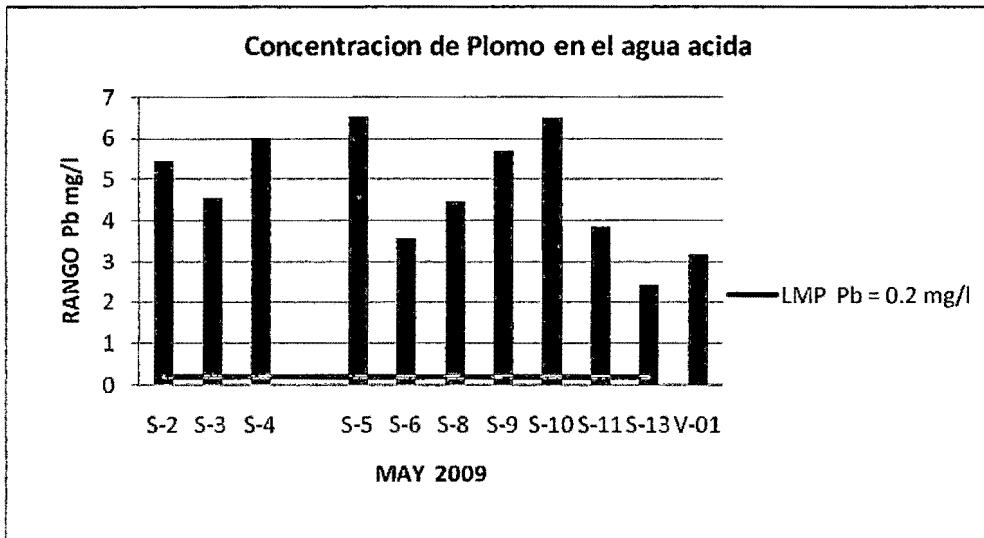


GRAFICO 5.4.44

Evaluación de cobre en las estaciones de monitoreo Mayo del 2009

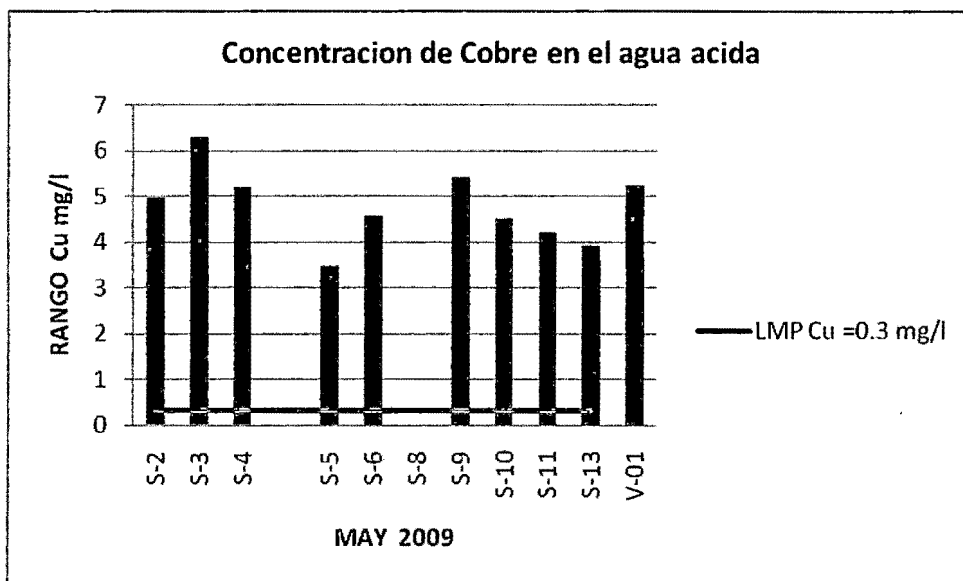


GRAFICO 5.4.45

Evaluación de zinc en las estaciones de monitoreo Mayo del 2009

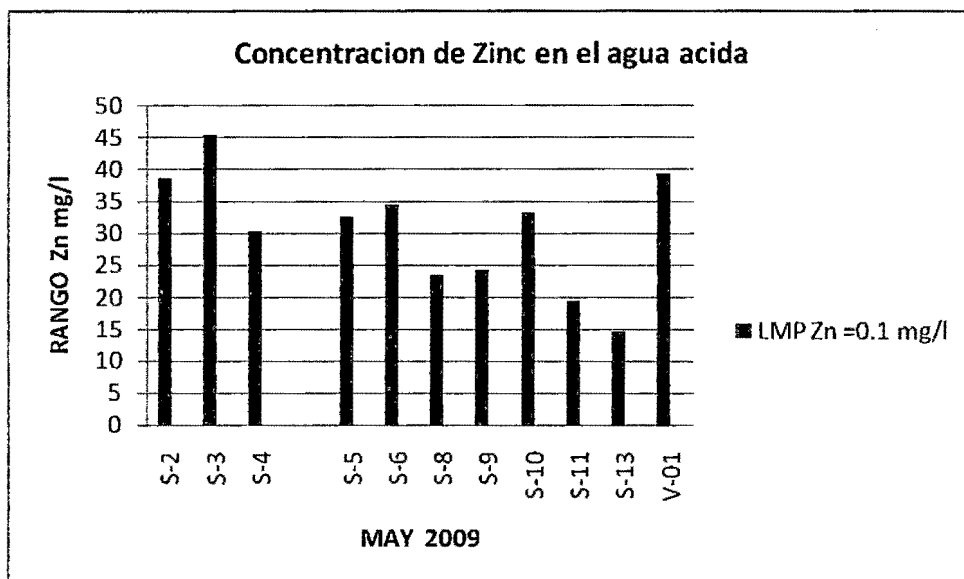


GRAFICO 5.4.46

Evaluación de fierro en las estaciones de monitoreo Mayo del 2009

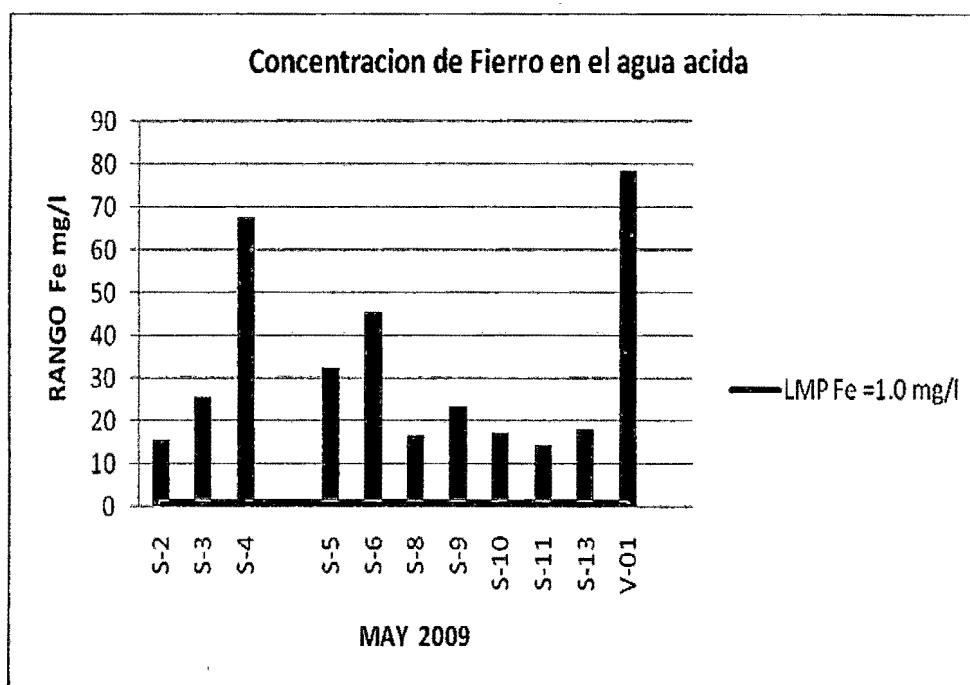


GRAFICO 5.4.47

Evaluación de arsénico en las estaciones de monitoreo Mayo del 2009

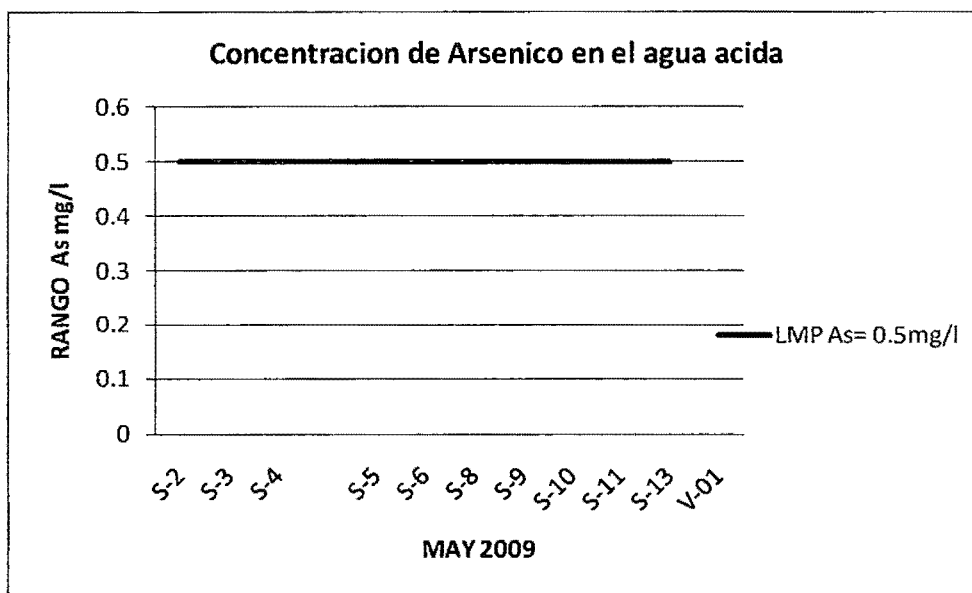


GRAFICO 5.4.48

Evaluación de cianuro total en las estaciones de monitoreo Mayo del 2009

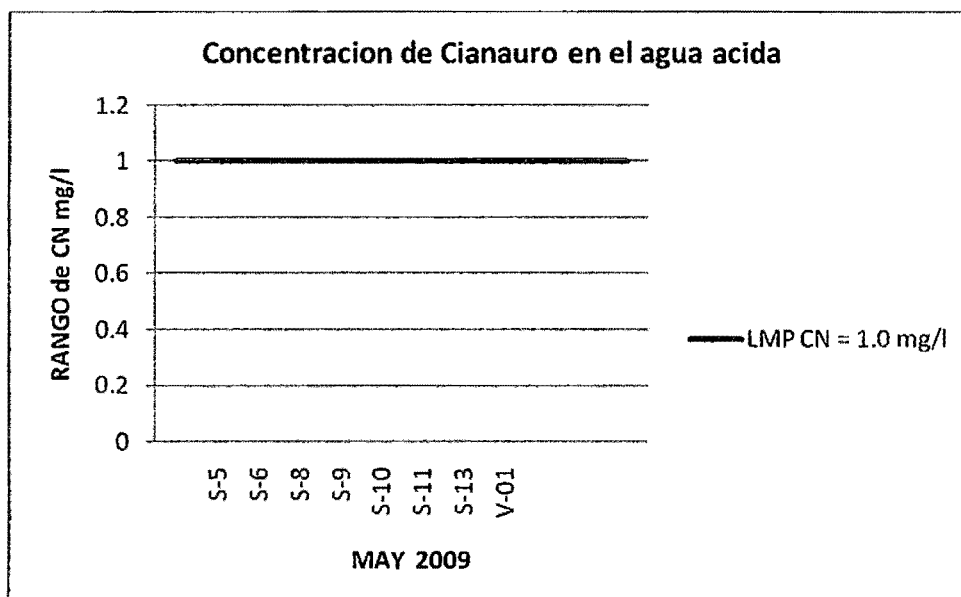


GRAFICO 5.4.49

Evaluación de plomo en las estaciones de monitoreo Junio del 2009

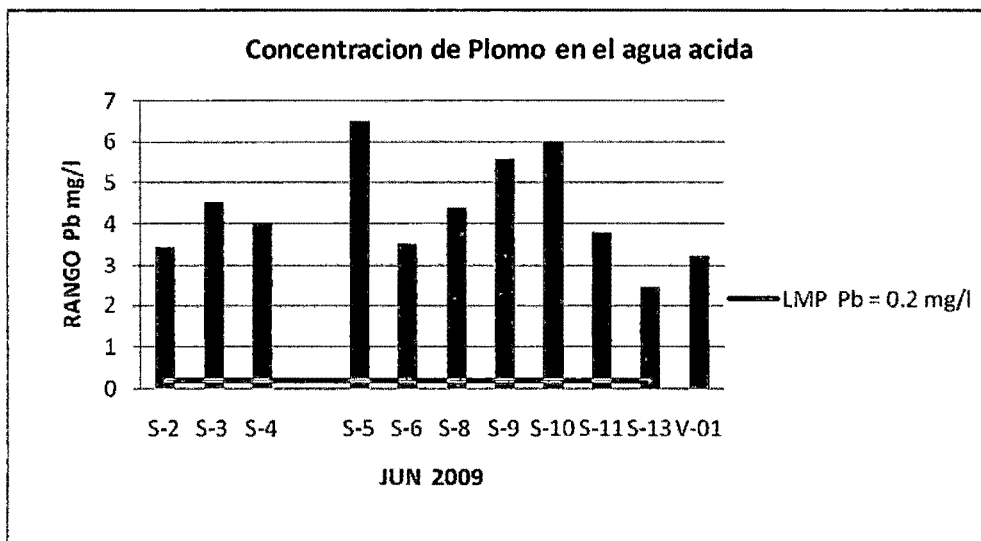


GRAFICO 5.4.50

Evaluación de cobre en las estaciones de monitoreo Junio del 2009

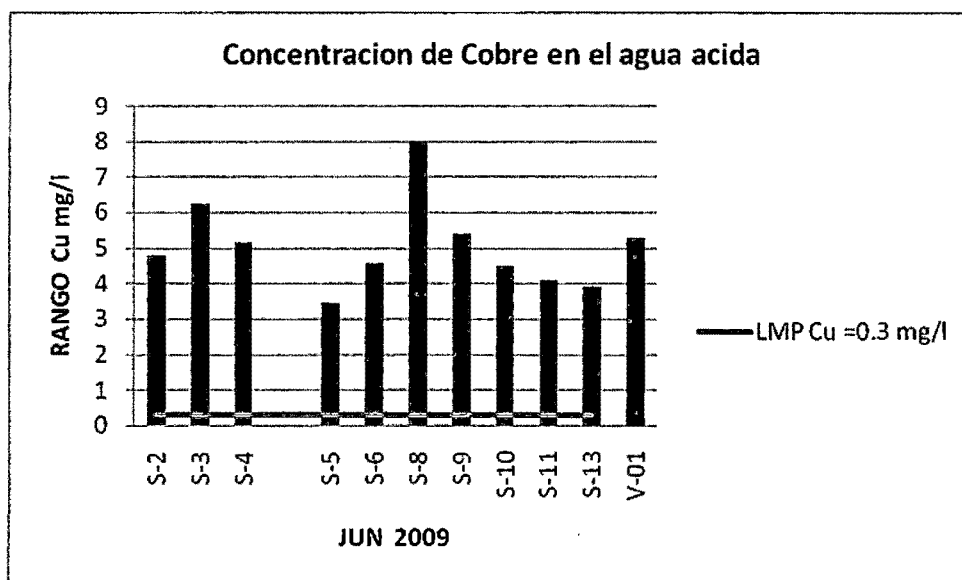


GRAFICO 5.4.51

Evaluación de zinc en las estaciones de monitoreo Junio del 2009

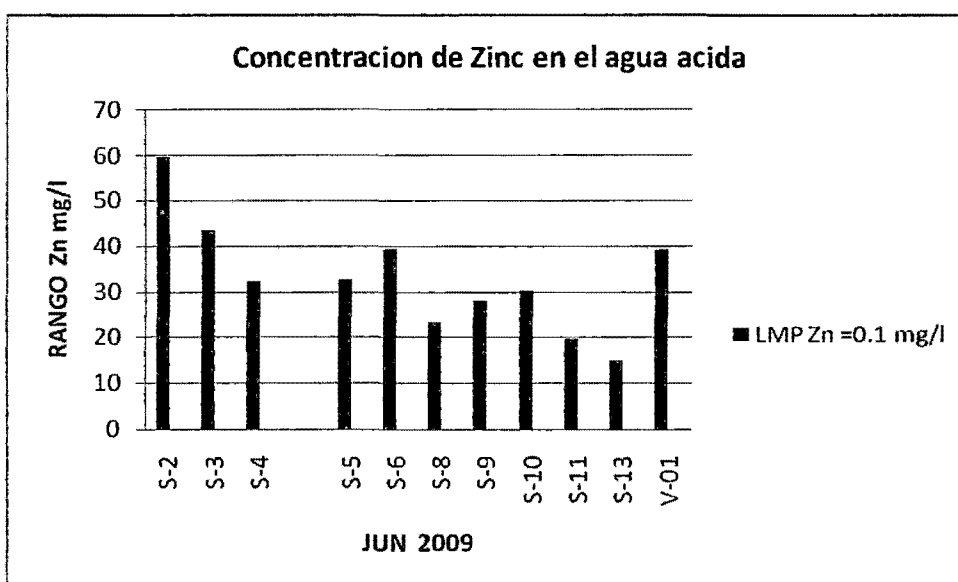


GRAFICO 5.4.52

Evaluación de fierro en las estaciones de monitoreo Junio del 2009

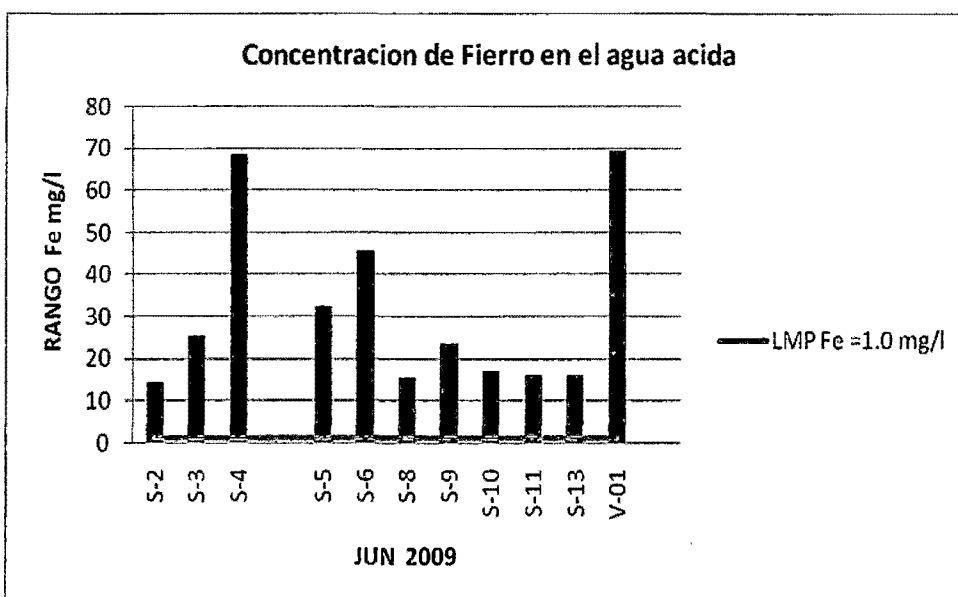


GRAFICO 5.4.53

Evaluación de plomo en las estaciones de monitoreo Junio del 2009

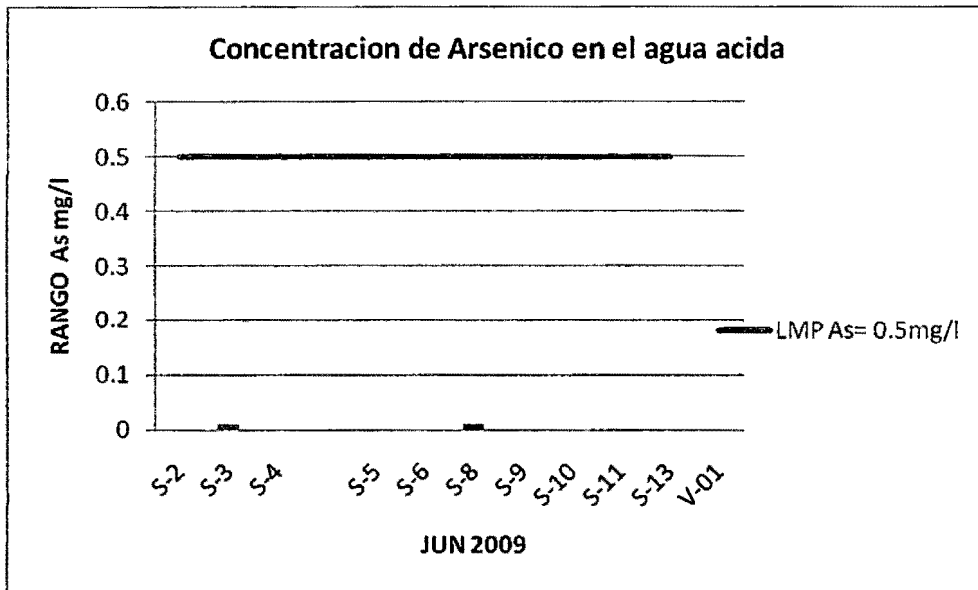


GRAFICO 5.4.54

Evaluación de cianuro total en las estaciones de monitoreo Junio del 2009

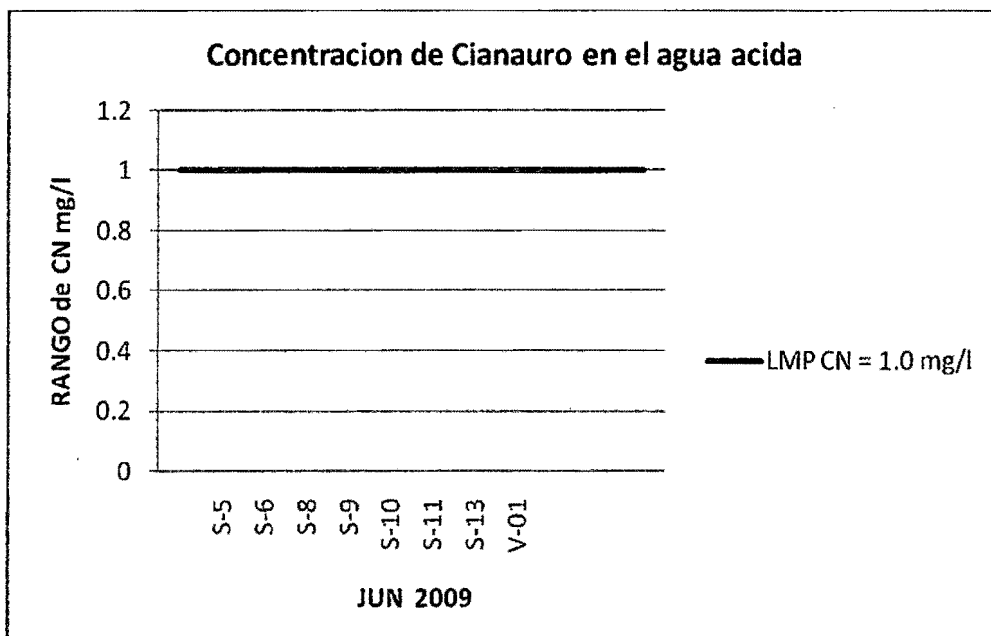


GRAFICO 5.4.55

Evaluación de plomo en las estaciones de monitoreo Julio del 2009

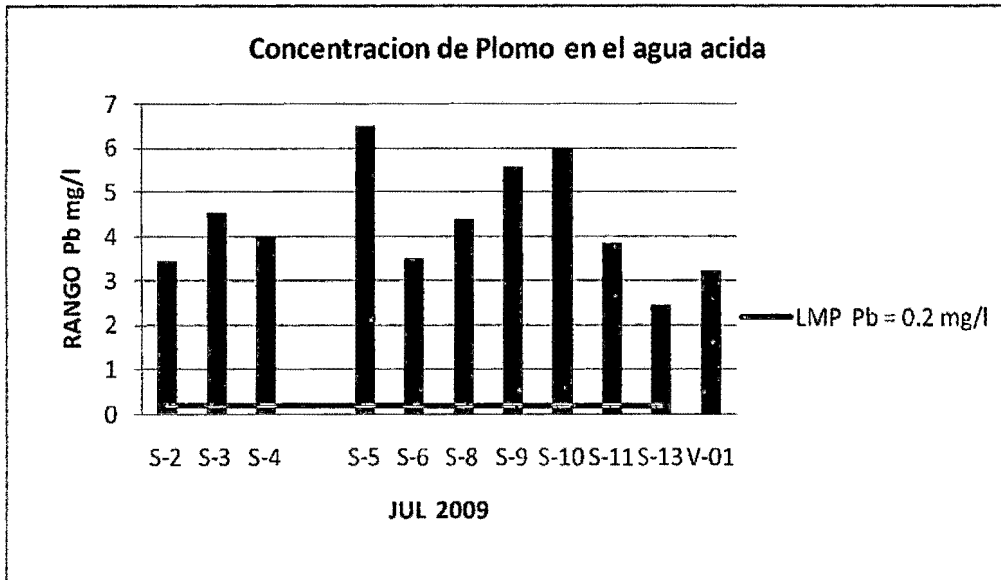


GRAFICO 5.4.56

Evaluación de cobre en las estaciones de monitoreo Julio del 2009

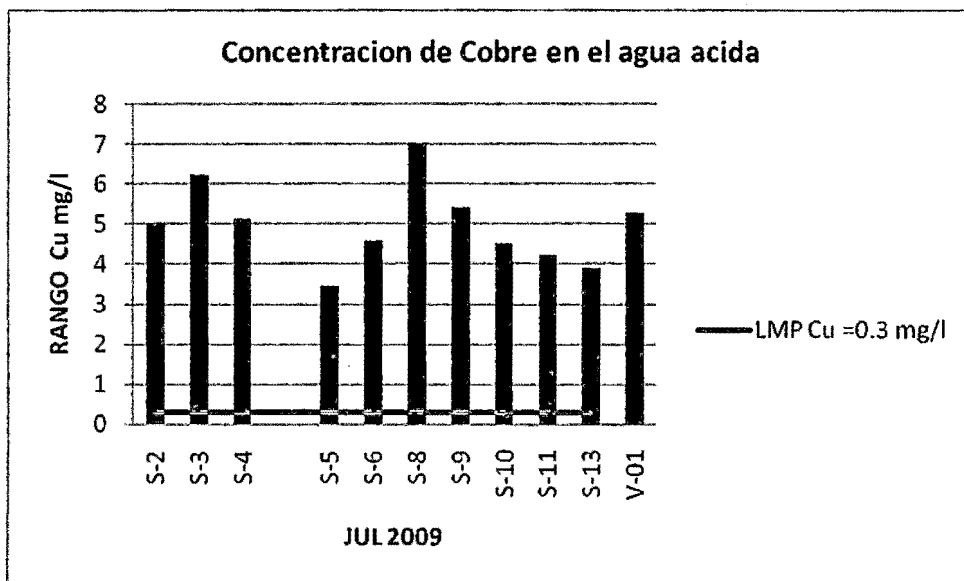


GRAFICO 5.4.57

Evaluación de zinc en las estaciones de monitoreo Julio del 2009

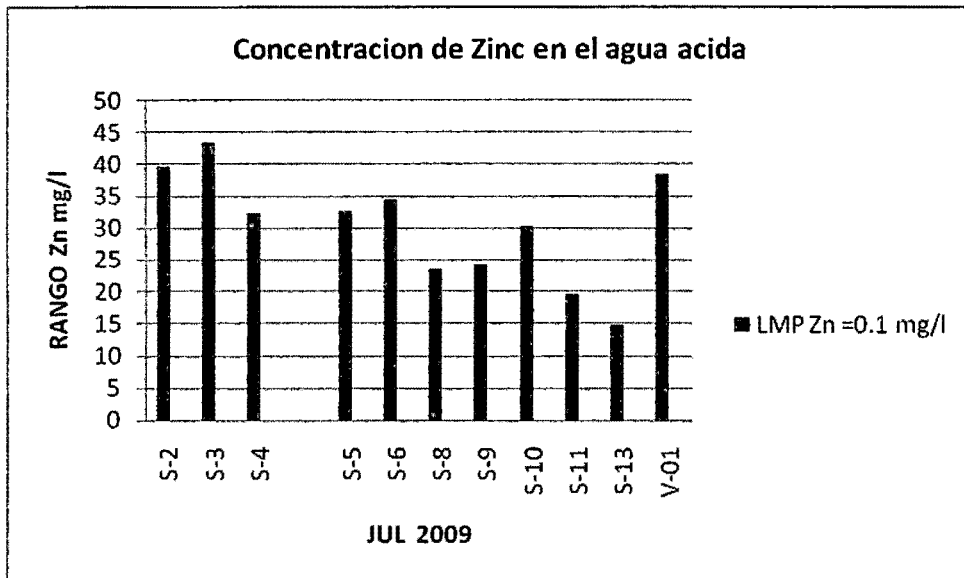


GRAFICO 5.4.58

Evaluación de fierro en las estaciones de monitoreo Julio del 2009

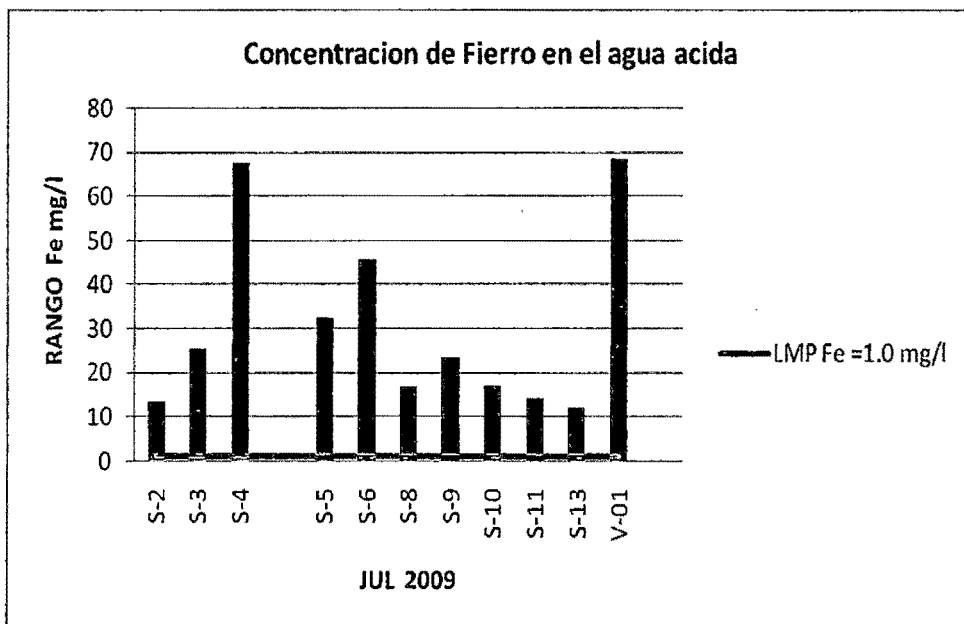


GRAFICO 5.4.59

Evaluación de arsénico en las estaciones de monitoreo Julio del 2009

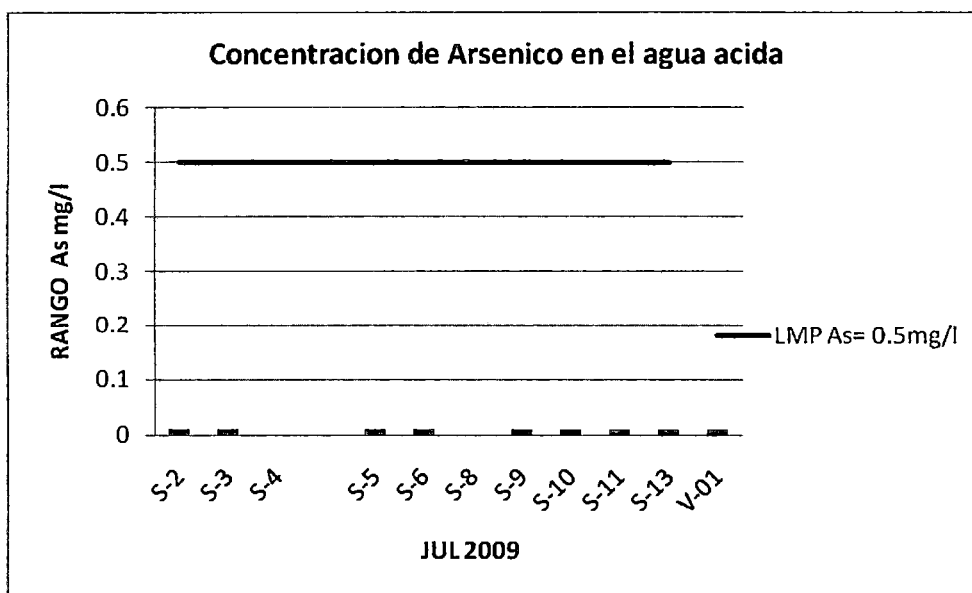


GRAFICO 5.4.60

Evaluación de cianuro total en las estaciones de monitoreo Julio del 2009

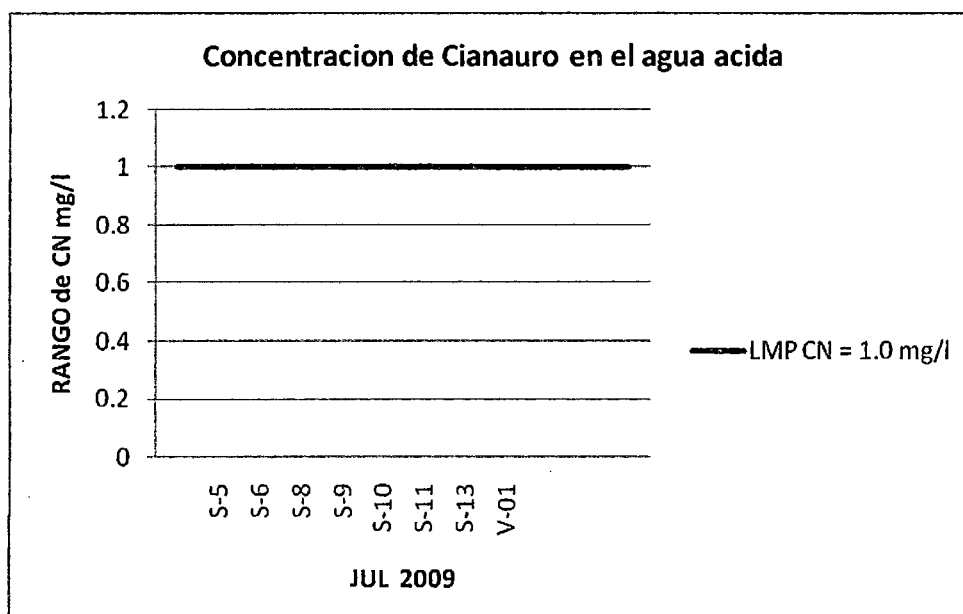


GRAFICO 5.4.61

Evaluación de plomo en las estaciones de monitoreo Agosto del 2009

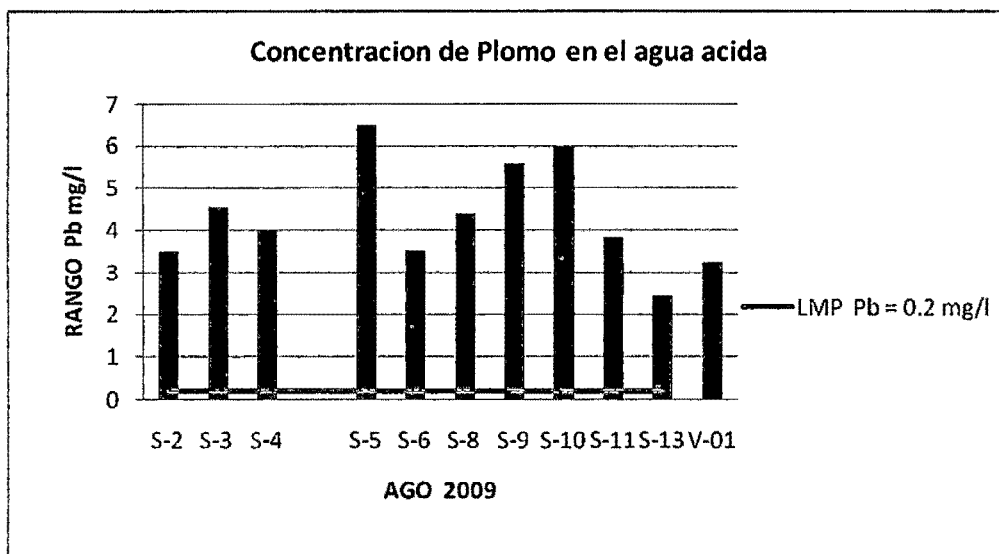


GRAFICO 5.4.62

Evaluación de cobre en las estaciones de monitoreo Agosto del 2009

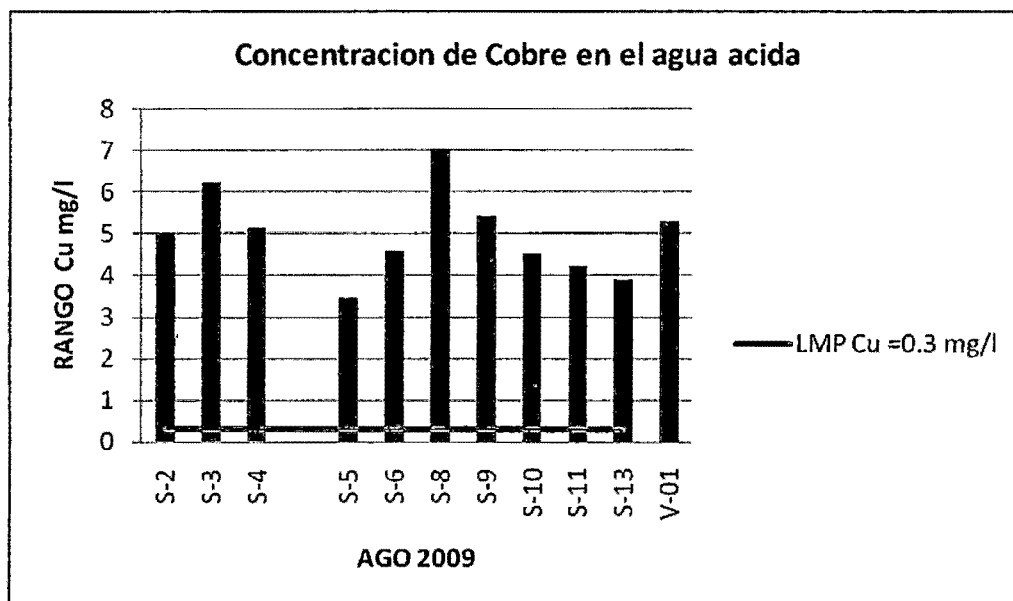


GRAFICO 5.4.63

Evaluación de zinc en las estaciones de monitoreo Agosto del 2009

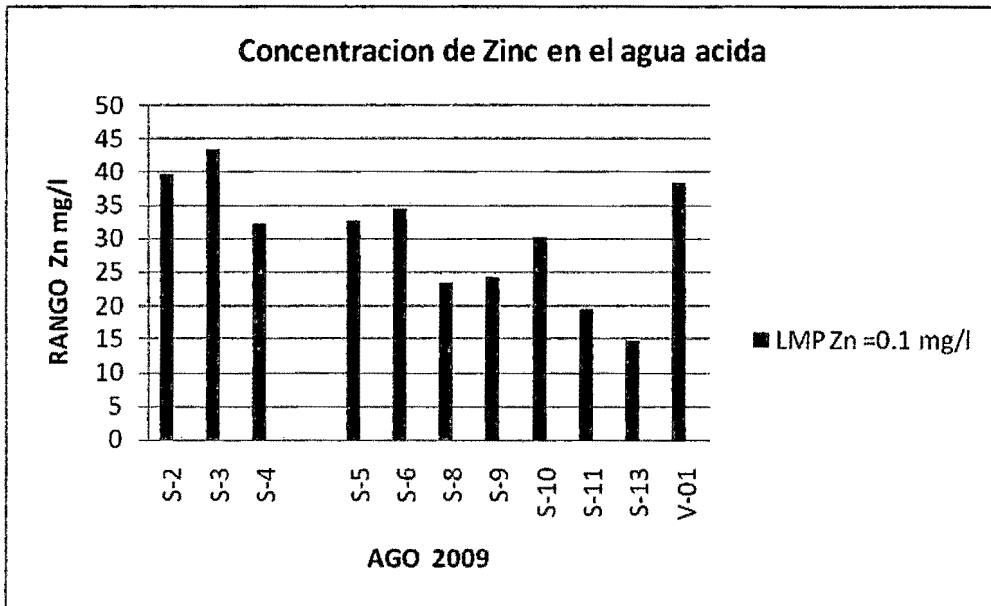


GRAFICO 5.4.64

Evaluación de fierro en las estaciones de monitoreo Agosto del 2009

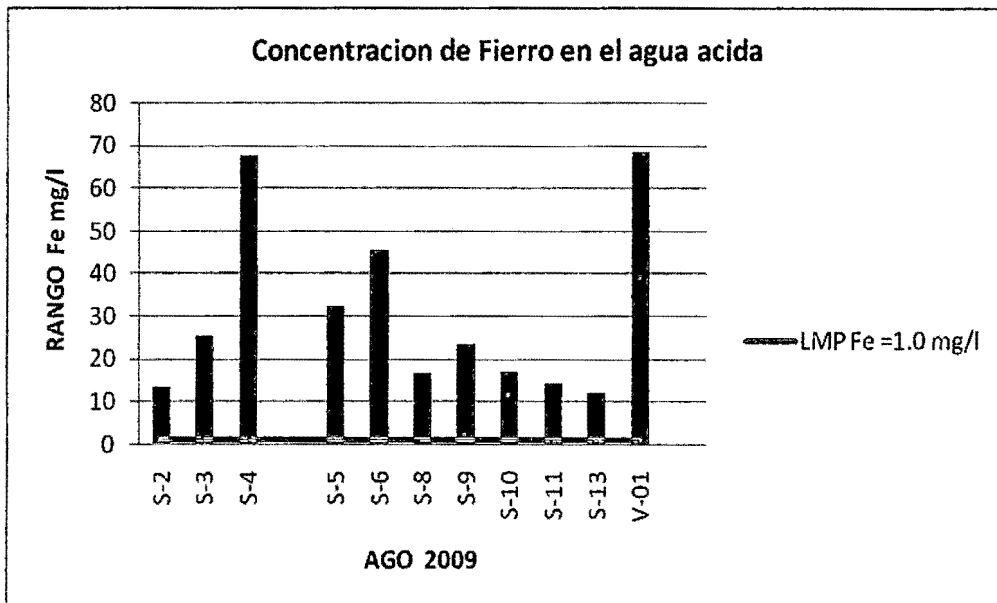


GRAFICO 5.4.65

Evaluación de arsénico en las estaciones de monitoreo Agosto del 2009

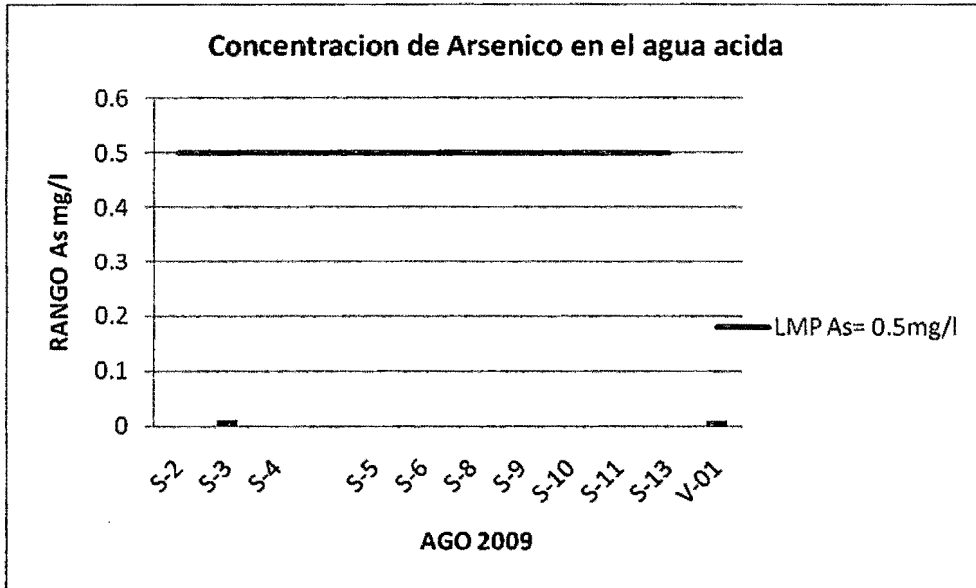


GRAFICO 5.4.66

Evaluación de cianuro total en las estaciones de monitoreo Agosto del 2009

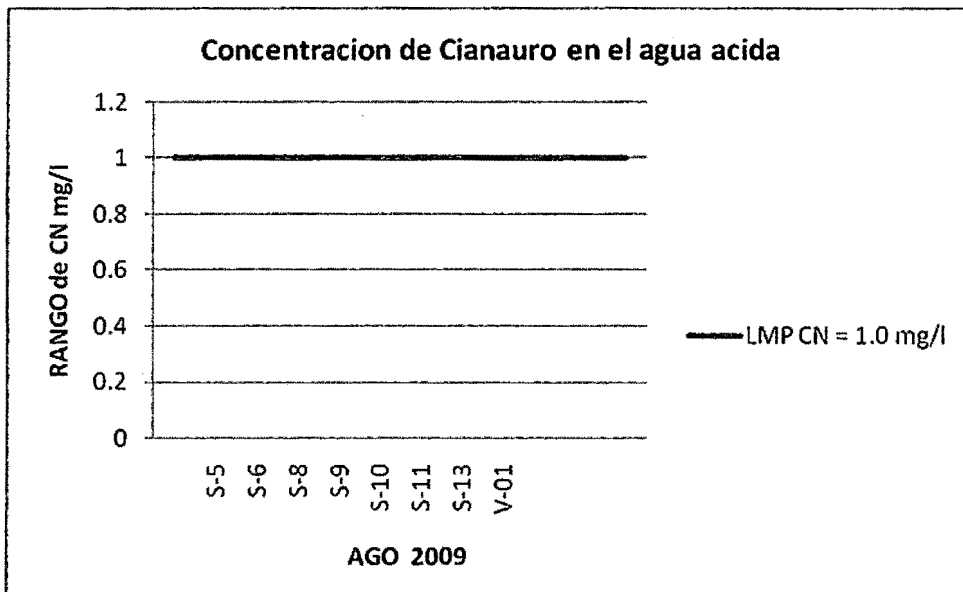


GRAFICO 5.4.67

Evaluación de plomo en las estaciones de monitoreo Setiembre del 2009

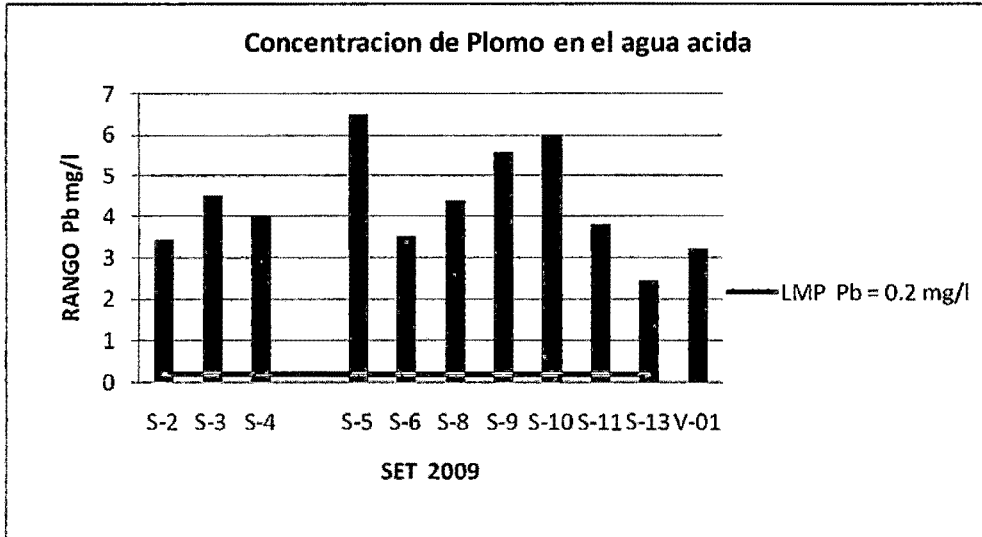


GRAFICO 5.4.68

Evaluación de cobre en las estaciones de monitoreo Setiembre del 2009

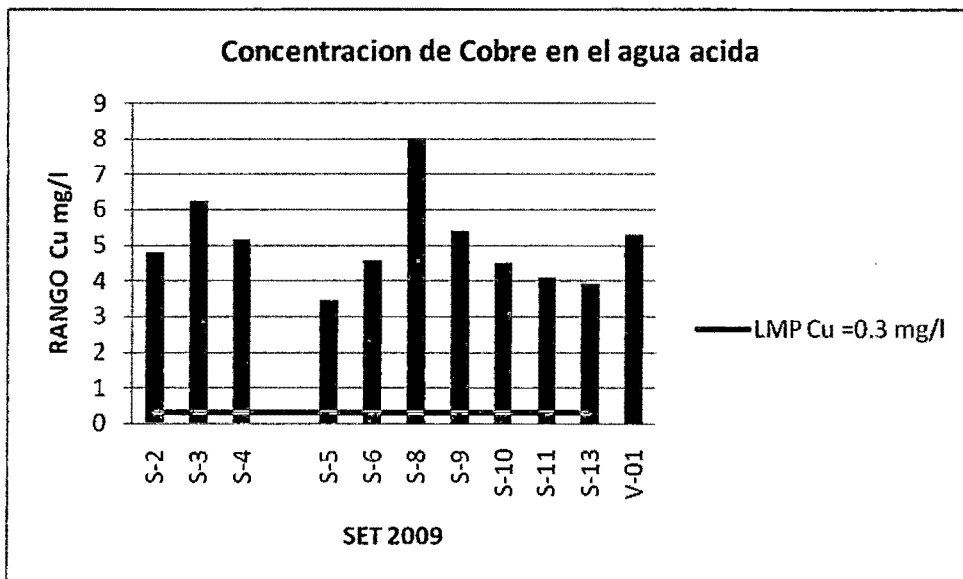


GRAFICO 5.4.69

Evaluación de zinc en las estaciones de monitoreo Setiembre del 2009

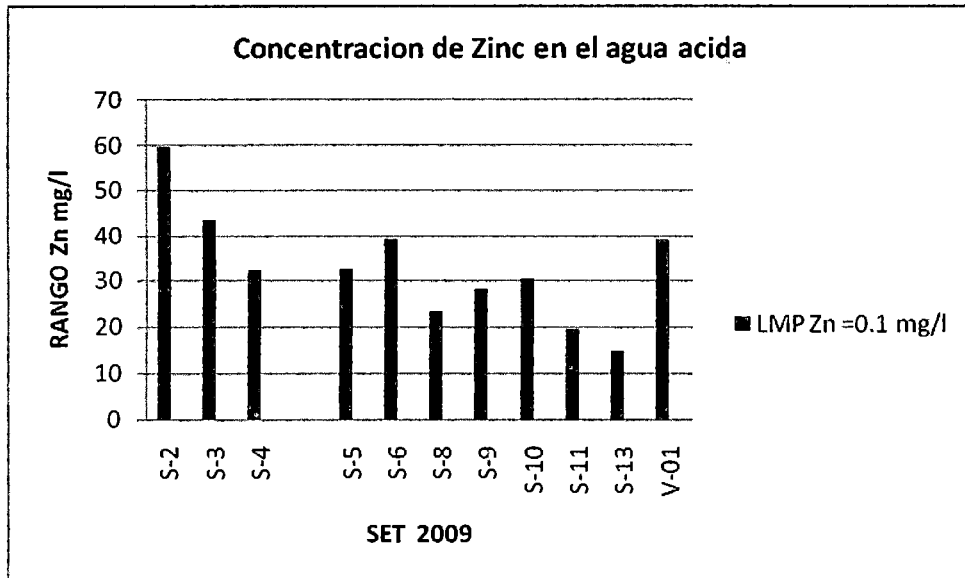


GRAFICO 5.4.70

Evaluación de fierro en las estaciones de monitoreo Setiembre del 2009

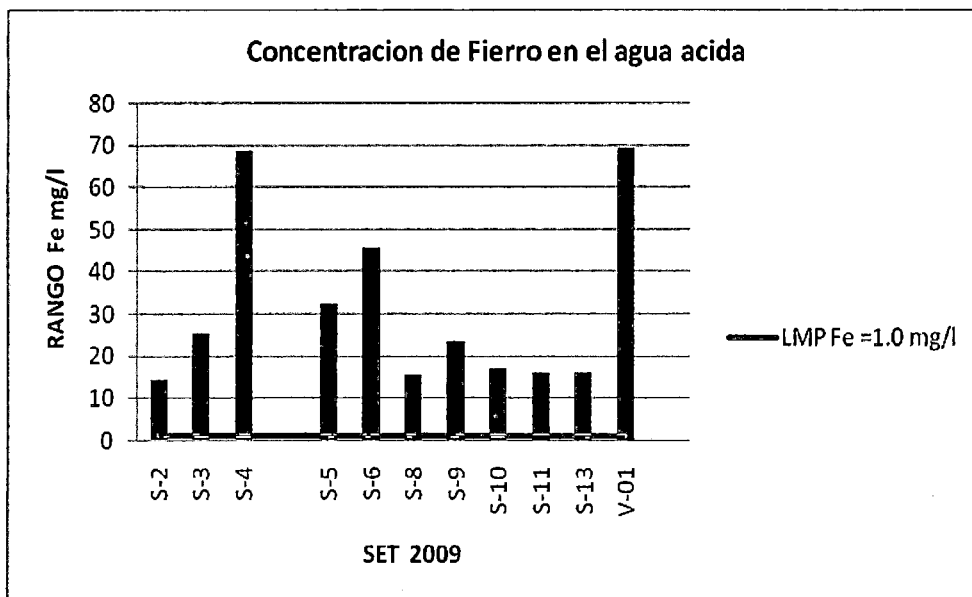


GRAFICO 5.4.71

Evaluación de arsénico en las estaciones de monitoreo Setiembre del 2009

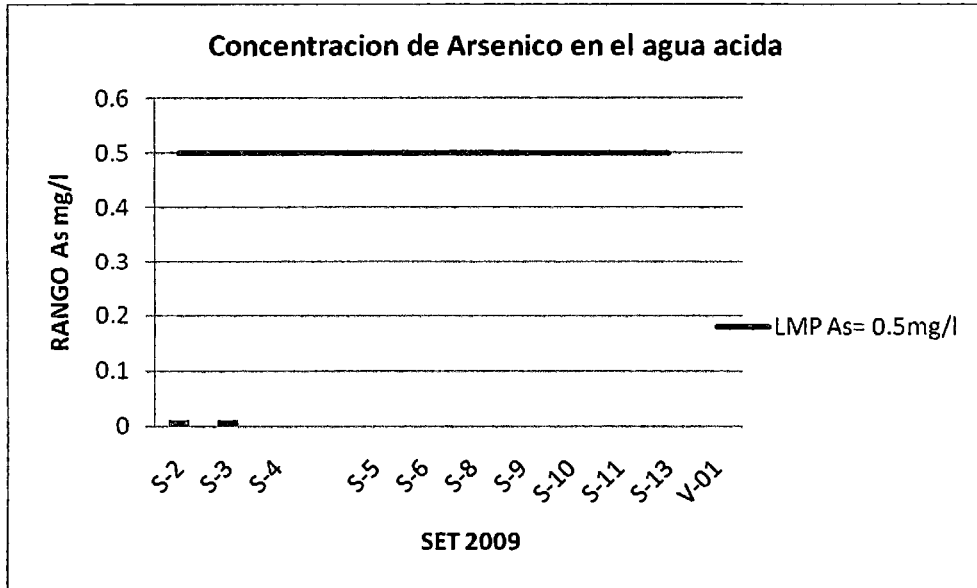
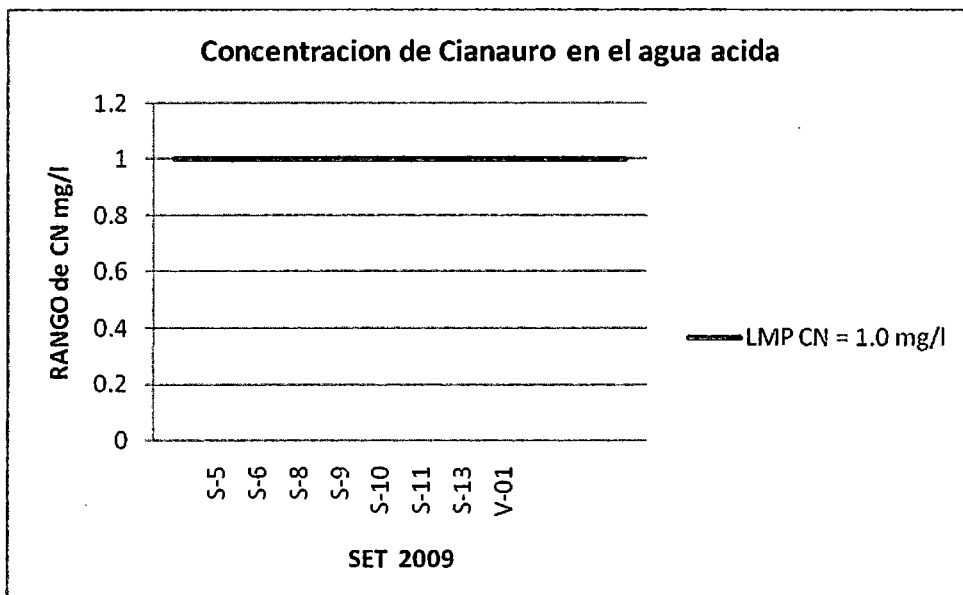


GRAFICO 5.4.72

Evaluación de cianuro total en las estaciones de monitoreo Setiembre del 2009



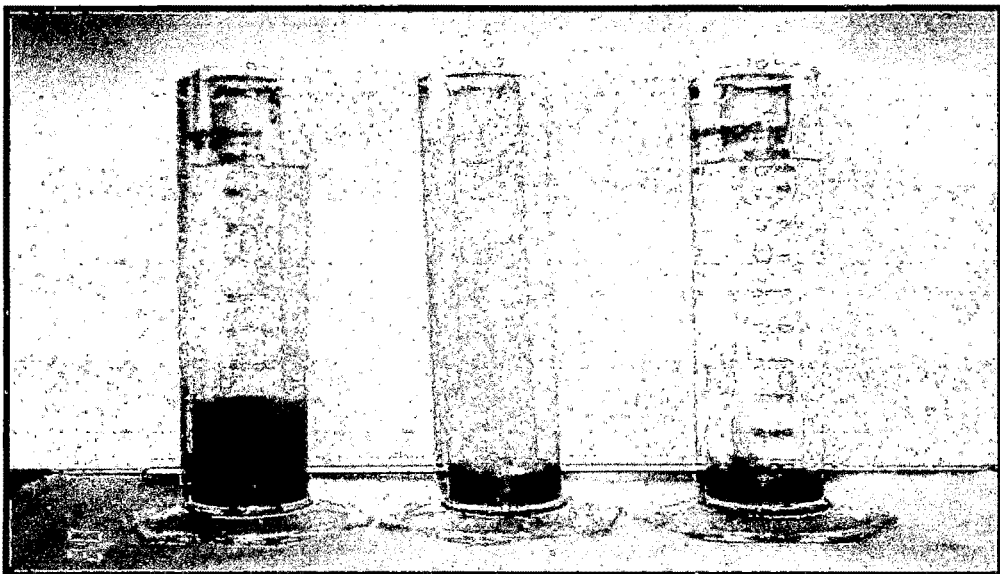
FIGURAS

FIGURA N° 4.1
MUESTREO DE LOS EFLUENTES TRATADOS EN LAS ESTACIONES
DE MONITOREO



Fuente: propia

FIGURA N° 4.2
REDUCCIÓN DEL VOLUMEN OCUPADO POR LOS LODOS DE
NEUTRALIZACIÓN DESPUÉS DE COAGULARSE CON EL RELAVE DE
FLOTACIÓN.



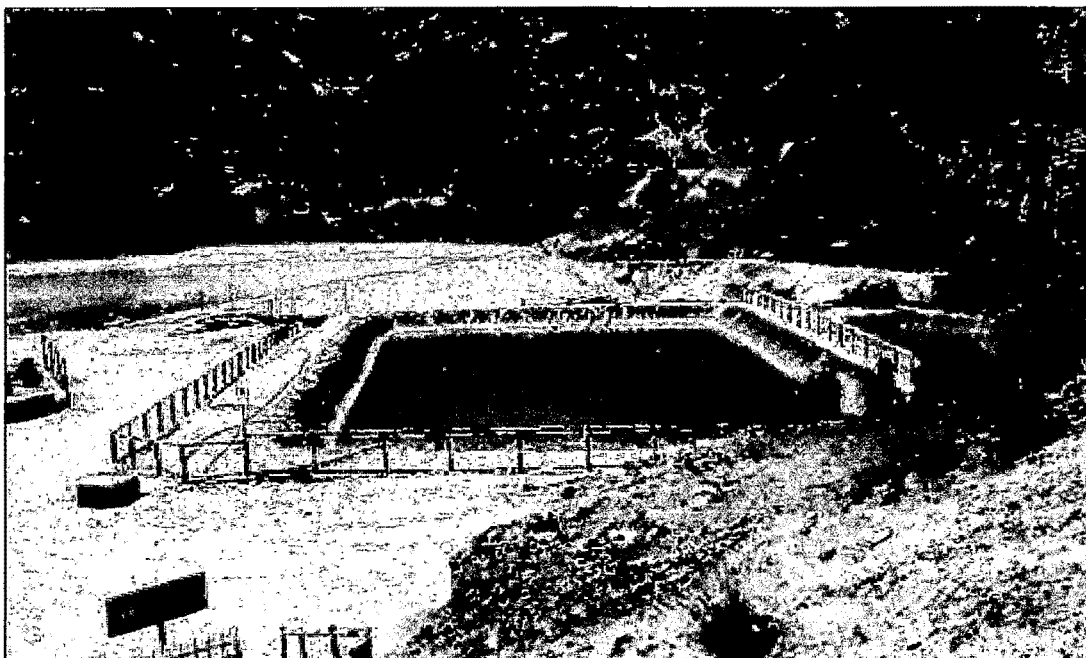
- ❖ **Probeta 1:** Sedimentación de Lodos neutralizados con Cal. Vol. Sedto = 320ml
- ❖ **Probeta 2:** Sedimentación de Relave de flotación. Vol. Sedimento = 80 ml
- ❖ **Probeta 3:** Sedimentación de la mezcla de probetas 1 y 2. Vol. Sedto = 80 ml
- ❖ Fuente: Propia

FIGURA N° 4.3
CONDUCCIÓN DE LAS AGUAS ACIDAS LÍNEA DE CONDUCCIÓN POR
TUBERÍAS HDP



Fuente: propia

FIGURA N° 4.4
POZA DE ALMACENAMIENTO Y DE REGULACION DE AGUAS ÁCIDAS



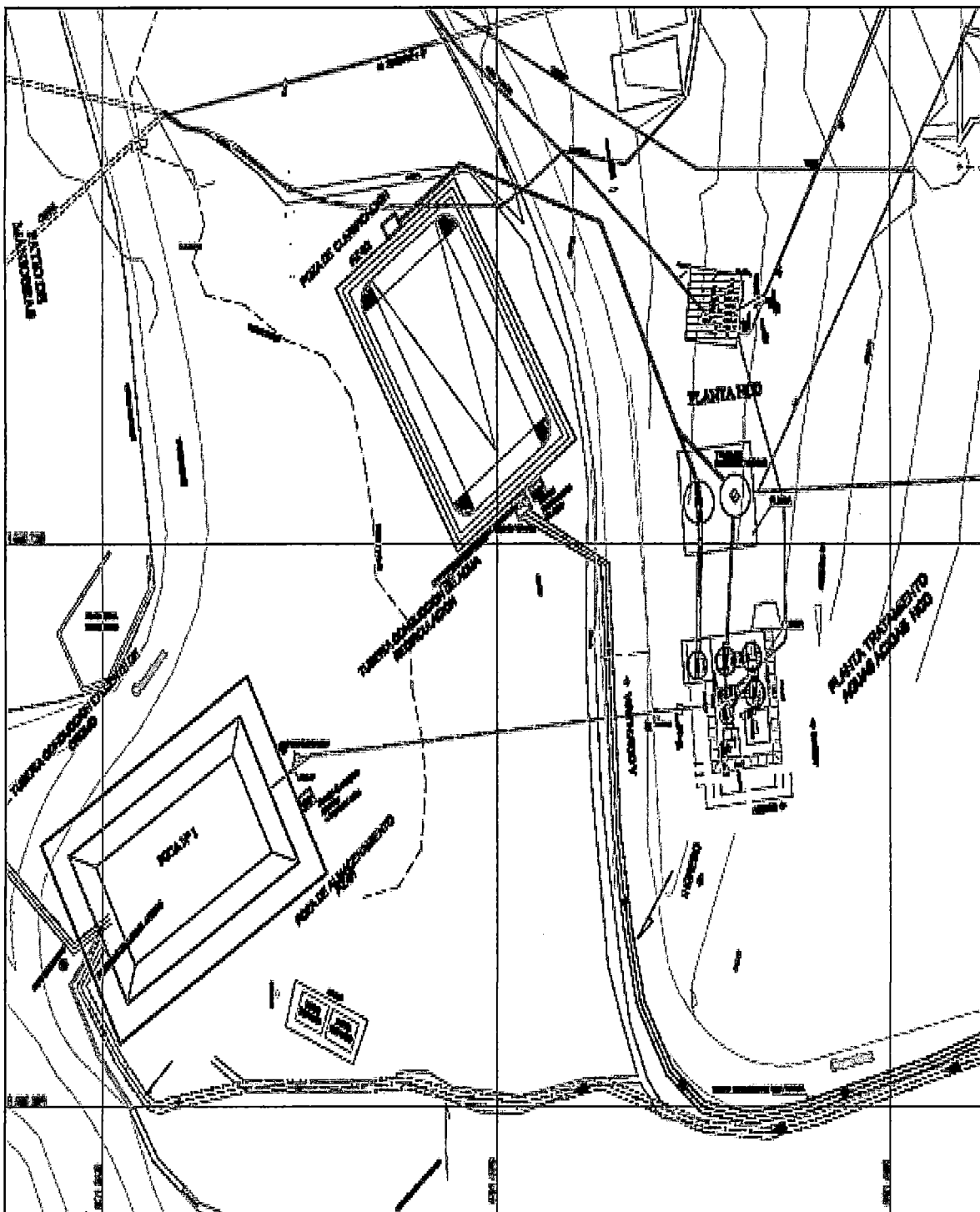
Fuente: propia

ANEXOS

PLANOS

PLANO N°1
PLANO UBICACIÓN ESTACIONES DE MONITOREO

PLANO N° 2 UBICACIÓN PLANTA NCD



CAJALUBO	Escala	1:1000	DIRECCIÓN GENERAL DE OBRAS PÚBLICAS	
	Fecha	2012	UBICACIÓN DE LA PLANTA NCD	F-11
Elaborado por				
Revisado por				

PLANO N° 3
PLANO LÍNEA DE CONDUCCIÓN AGUAS ÁCIDAS

PLANO N° 4

PLANO DE UBICACIÓN MINA CAUDALOSA

