

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS PROFESIONAL**

**“EFICIENCIA DE LAS ESTRUCTURAS CONSTRUIDAS  
PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA EN EL  
CIERRE DE ACTIVIDADES EN LA MINA BANCO MINERO  
Y TAHONA - HUALGAYOC - CAJAMARCA”**

**PARA OPTAR POR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER:**

**SAMUEL DÍAZ GÁLVEZ**

**ASESORES:**

**Dr. Ing. MIGUEL ÁNGEL MOSQUEIRA MORENO**  
**Ing. LUIS VÁSQUEZ RAMÍREZ**

**CAJAMARCA - PERÚ**

**2014**

## INDICE

CONTENIDO	PÁGINA
<b>SECCION PRELIMINAR</b>	
Caratula	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice de tablas	iv
Índice de figuras	v
Resumen	vi
Abstract	vii
<b>CAPITULO I: INTRODUCCION</b>	
1.1. Planteamiento del problema	1
1.2. Formulación del problema	1
1.3. Hipótesis	1
1.4. Justificación de la investigación	2
1.5. Delimitación de la investigación	2
1.6. Alcances	3
1.7. Objetivos	3
1.7.1. Objetivo general	3
1.7.2. Objetivos específicos	3
1.8. Descripción de los contenidos de los capítulos	4
<b>CAPITULO II: MARCO TEÓRICO</b>	
2.1. Antecedentes teóricos	5
2.2. Definición de términos básicos	10
2.3. Bases teóricas	13
2.3.1. El recurso agua	13
2.3.1.1. Distribución actual del agua en la tierra	13
2.3.1.2. El agua en la agricultura	14
2.3.1.3. El uso del agua en la industria	15
2.3.1.4. La contaminación y la depuración del agua.	16
2.3.2. Agua y minería en el Perú.	17
2.3.2.1. Minería en el Perú.	17
2.3.2.2. Marco legal.	20
2.3.2.3. Origen de las fuentes potenciales de generación de aguas residuales en la industria minero-metalúrgica.	20
A. Aguas de minas	21
B. Drenajes ácidos de minas	21
C. Relaves	22
a. Drenaje ácido de relaves (ARD)	23
2.3.2.4. Métodos o tecnologías para el tratamiento de las aguas residuales de la industria minero-metalúrgica.	24
A. Separación sólido –líquido.	26
a. Sedimentación o decantación.	26
b. Coagulación/floculación:	26
c. Filtración	27

d. Neutralización	28
e. Aireación	28
f. Precipitación química	29
g. Depósitos de relaves	30
h. Tratamiento de drenaje de ácidos de minas en humedales construidos	31
• Sistemas de humedales superficiales para flujo libre de agua	32
• Humedales subterráneos para el tratamiento de flujos	33
• Los procesos de retiro	34
• El retiro del metal	34
2.3.3. Calidad del agua	34
2.3.3.1. Características físicas	35
A. Turbiedad	35
B. Sólidos solubles e insolubles	36
C. Color	37
D. Olor y sabor	38
E. Temperatura	39
F. pH.	39
2.3.3.2. Características químicas	40
A. Aceites y grasas	40
B. Agentes espumantes	40
C. Alcalinidad	41
D. Aluminio	41
E. Amonio	42
F. Antimonio	43
G. Arsénico	43
H. Bario	43
I. Boro	44
J. Cadmio	44
K. Cianuro	45
L. Cinc	45
M. Cloruros	45
N. Cobre	46
O. Cromo	47
P. Dureza	47
Q. Fluoruros	48
R. Fosfatos	48
S. Hierro	48
T. Manganeseo	50
U. Materia orgánica	50
V. Mercurio	51
W. Nitratos y nitritos	51
X. Plata	52
Y. Plomo	52
Z. Sulfatos	53
2.3.3.3. Estándares nacionales de calidad ambiental para agua	53

CAPITULO III: MATERIALES Y METODOS	56
3.1. Diseño metodológico	56
3.1.1. Tipo de investigación	56
3.1.2. Procedimiento	56
3.1.3. Localización	57
3.1.4. Población y muestra	58
3.1.5. Descripción del diseño	59
3.1.5.1. Estructura construida a través de filtro	59
3.1.5.2. Estructura construida a través de posas de sedimentación o muros sedimentadores	59
3.2. Tratamiento y análisis de datos y presentación de resultados	60
3.2.1. Métodos estadísticos univariados y multivariados	60
3.2.2. Presentación de resultados	62
CAPITULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	64
4.1. Resultados y Discusiones	64
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	67
5.1. Conclusiones	67
5.2. Recomendaciones	67
Referencias Bibliográficas	69
ANEXOS	
ANEXO 1	
Cálculo de la eficiencia de las estructuras	71
ANEXO 2	
Costo de las estructuras	78
ANEXO 3	
Diseño de experimentos	80
ANEXO 4	
Principales indicadores de estadística descriptiva: Aplicados a los datos de la investigación.	102
Análisis inferencial de los indicadores de calidad para el agua:	103
ANEXO 5	
Planos de las estructuras	119
ANEXO 6	
Certificados de análisis de agua	124
ANEXO 7	
Panel fotográfico	148

## *DEDICATORIA*

*A DIOS:*

*Por darme la inspiración y la fuerza para esforzarme cada día a cumplir cada uno de mis sueños.*

*A MIS PADRES:*

*HORACIO Y EUFEMIA, Que nunca cesaron en la lucha diaria, para ver culminada la mejor de mis aspiraciones, por su apoyo, cariño, comprensión y amor sincero que diariamente supieron darme.*

*A MIS HERMANOS:*

*YONEL Y ROSA, que me han dado el apoyo y el amor requerido en mi vida.*

*Y a todas las personas que quiero, las cuales confiaron en mí y me brindaron su solidaridad y fortaleza necesaria.*

## *Agradecimiento*

*A todas las personas que de una u otra manera contribuyeron para culminar este trabajo de investigación.*

*El autor*

## ÍNDICE DE TABLAS

CONTENIDO		PÁGINA
TABLA N° 1	Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades Minero- Metalúrgicas	55
TABLA N° 2	Tipificación de la investigación según los criterios más importantes	56
TABLA N° 3	Resultados de las muestras de agua	62
TABLA N° 4	Caudal, pH y metales pesados	63
TABLA N° 5	Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes	63
TABLA N° 6	Comparación de resultados estructura AT-LL-1	64
TABLA N° 7	Comparación de resultados estructura ED-LL-6	64
TABLA N° 8	Comparación de resultados estructura ED-LL-12	65
TABLA N° 9	Comparación de resultados estructura LN-LL-3	65
TABLA N° 10	Comparación de resultados estructura LN-LL-6	66
TABLA N° 11	Comparación de resultados estructura LN-LL-14	66

## ÍNDICE DE FIGURAS

CONTENIDO		PÁGINA
FIGURA N° 1	Sistema de aguas superficiales	33
FIGURA N° 2	Sistemas de flujo superficial	33
FIGURA N° 3	Ubicación del Área Estudio	57
FIGURA N° 4	Ubicación del Área Estudio	58
FIGURA N° 5	Ciclo del Análisis Estadístico	60

## RESUMEN

A diferencia de otros procesos productivos, la minería se desarrolla en un período finito de tiempo. Al extraer recursos no renovables de la superficie terrestre esta actividad produce cambios, en ocasiones irreversibles, en el medio ambiente, contaminando las aguas que son vertidas a la superficie terrestre, muchas veces sin el tratamiento adecuado o sin tratamiento, perjudicando directamente la salud de la población; a través de esta investigación determinaremos la eficiencia de las estructuras construidas para mejorar la calidad del agua en el cierre de actividades de la mina banco minero y tahona-Hualgayoc-Cajamarca; después de realizar la toma periódica de muestras de agua y haber obtenido los resultados y procesarlos respectivamente se determinó la eficiencia de las estructuras y se llegó a la conclusión que la estructuras TIPO I de la mina banco minero es eficiente en un 36.48% y la estructuras TIPO II de la mina tahona es eficiente en un 24.51% y se necesita dar un tratamiento adicional al agua que es expulsada a través de las estructuras para estabilizar el PH y zinc.

**Palabras clave:** eficiencia de las estructuras, calidad del agua.

## **ABSTRACT**

Unlike other production processes, mining takes place in a finite period of time. By extracting non-renewable land surface resources this activity produces changes, sometimes irreversible, to the environment, polluting the waters which are discharged into the earth's surface, often without treatment or without treatment, directly harming the health of the population; Through this research to determine the efficiency of the structures built to improve water quality in the closure of the mining activities of the bank and bakery Hualgayoc-Cajamarca-mine; after performing the periodic sampling of the water and obtaining the results and process respectively the efficiency of the structures was determined and concluded that the structure type I bank mineral mining is efficient in a 36.48% and the structures TYPE II Tahona mine is a 24.51% efficient and provide needed additional treatment to water is expelled through the structures to stabilize the pH and zinc.

**Keywords:** efficiency of structures, water quality.

# CAPITULO I

## INTRODUCCION

### 1.1. Planteamiento del problema

La minería es una actividad económica que se desarrolla desde siglos atrás explotando metales diversos que ineludiblemente generan residuos. Las viejas prácticas mineras y el manejo inadecuado de estos residuos como también la inexistencia de normas precisas que regulen el cierre de minas ha devenido en la acumulación de pasivos ambientales mineros provocando contaminación de recursos naturales cuyo uso puede poner en riesgo la salud pública. y en donde los residuos depositados pueden provocar efectos nocivos que limitan el uso de los suelos, afectan la calidad de las aguas superficiales y subterráneas, degradan la flora y fauna, y restringen los derechos de las poblaciones locales de usar tales recursos sin correr el riesgo de afectar su salud (Yupari 2003). En Hualgayoc la baja calidad del agua se debe a que las empresas dedicadas a la extracción de minerales hace aproximadamente 20 años abandonaron sus instalaciones entre otros en Banco Minero y Tahona, sin realizar ningún tipo de cierre de mina, hoy en la actualidad la población de Hualgayoc y el valle ubicado aguas abajo del río sufren las consecuencias, afectando directamente su salud y por ende su calidad de vida, por ello se realizó una serie de acciones para remediar dicho problema, entre otros se construyó estructuras para mejorar la calidad del agua que sale de las galerías abandonadas, nuestra investigación es conocer su eficiencia de las mismas, por ello nace la formulación del problema.

### 1.2. Formulación del problema

¿Cuál es la eficiencia de las estructuras construidas para mejorar la calidad del agua en el cierre de actividades en la mina banco minero y Tahona-Hualgayoc-Cajamarca?

### 1.3. Hipótesis

Las estructuras construidas para mejorar la calidad del agua en el cierre de actividades de la mina Banco Minero y Tahona - Hualgayoc son eficientes.

#### **1.4. Justificación de la investigación**

La investigación es importante porque uno de los problemas aun por solucionar en la convulsionada relación entre la minería y la población de Cajamarca es Hualgayoc. En esta provincia existen 1.237 pasivos ambientales (relaveras, bocaminas, instalaciones en desuso) de oro y cobre sin remediar que, pese a que fueron abandonados hace más de 20 años, todavía siguen contaminando la poca agua que beneficia a unos 16 mil pobladores y los hermosos paisajes que rodean a estas comunidades. Como propuesta de solucionar en algo referido problema, se ha construido estructuras en la mina Banco Minero y Tahona – Hualgayoc.

#### **1.5. Delimitación de la investigación**

Con respecto a la determinación de la eficiencia de las estructuras, lo que se obtendrá es una eficiencia relativa en función a la información inicial del mes de abril del 2013 antes de construir las estructuras, la que será contrastada con el promedio de la información obtenida periódicamente después de construirse las estructuras, además tomaremos como referencia los límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero – metalúrgicas.

Obtendremos la eficiencia de las estructuras para un año, ya que los análisis realizados al agua, han sido periódicamente durante un año, para aguas contaminadas con procesos mineros, la eficiencia se mide con respecto al pH y a los metales pesados,

Los resultados obtenidos de los análisis de agua están de acuerdo a la capacidad del laboratorio de análisis de minerales de la universidad nacional de Cajamarca.

Las estructuras están construidas en las bocas de las minas (bocaminas), que fueron explotadas en forma de galerías, estas estructuras sirven a la vez de tapón a las minas, por lo que no se tiene ningún tipo de acceso al interior de la estructura y no se puede tener ningún contacto aguas arriba de las estructuras.

## **1.6. Alcances**

- ❖ Hualgayoc es una de las zonas más afectadas por la minería. Con más de 120 mil pobladores esta provincia sufre las consecuencias del agua contaminada por los residuos mineros.
  
- ❖ Los pasivos ambientales no solo reflejan la agonía de la tierra, sino que todavía sangran minerales desde su interior, ya que no han sido clausurados: de las bocaminas abandonadas brotan agua de un color cobrizo, como si se tratara de un jugo de naranja grumoso. Esa agua muchas veces la utilizan para regar sus tierras e incluso la gente más necesitada la consume cuando llega más limpia.

## **1.7. Objetivos**

### **1.7.1. Objetivo general**

Determinar la eficiencia de las estructuras construidas para mejorar la calidad del agua en el cierre de actividades en la mina banco minero y Tahona-Hualgayoc-Cajamarca.

### **1.7.2. Objetivos específicos**

- ❖ Realizar el monitoreo de la calidad del agua antes y después de la construcción de las estructuras.
  
- ❖ Comparar la calidad del agua antes y después de construidas las estructuras y contrastar con los límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero – metalúrgicas.
  
- ❖ procesar los datos obtenidos de los análisis periódicos del agua.

## **1.8. Descripción de los contenidos de los capítulos**

**CAPITULO I:** Contiene todo lo concerniente a la introducción: Problemática, hipótesis, Justificación de la investigación, alcances y objetivos.

**CAPITULO II:** Contiene todo lo concerniente al marco teórico: antecedentes teóricos, definición de términos básicos y bases teóricas.

**CAPITULO III:** Contiene todo lo concerniente a los materiales y métodos: se describe los métodos y técnicas que se usaron en la investigación, así como la presentación y el análisis de resultados.

**CAPITULO IV:** Contiene todo lo concerniente al análisis y discusión de resultados: Se describe, explica y discute los resultados siguiendo la secuencia de los objetivos planteados.

**CAPITULO V:** Contiene todo lo concerniente a conclusiones y recomendaciones.

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes teóricos**

En todo el mundo existen abundantes minas abandonadas que aún no han sido caracterizadas, ni remediadas. Por ejemplo, algunas de las actividades mineras y metalúrgicas desarrolladas a lo largo del río Rímac, en Perú, en conjunción con otras fuentes incluyendo las de tipo agrícola, contaminan las fuentes de agua potable que abastecen la región de Lima Metropolitana donde habitan, aproximadamente un tercio de la población peruana. (Banco Mundial 2005).

En Chile se ha desarrollado dos proyectos sobre el remediación de pasivos ambientales:

Uno denominado "Fortalecimiento de la Capacidad Institucional en Gestión Ambiental Minera" (FOCIGAM) - El Proyecto FOCIGAM surgió en base a un marco de convenio de cooperación técnica entre los gobiernos de Chile y Japón, a través de la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA) y el Ministerio de Minería, representado por SERNAGEOMIN. Su desarrollo está proyectado para 5 años desde Julio del 2002. Este Proyecto se propone contribuir al desarrollo sustentable del país respecto a la explotación de los recursos minerales al considerar una evaluación de riesgos para las Faenas Mineras Paralizadas del país. La información levantada en terreno será incorporada en una Base de Datos permitiendo completar un catastro de Faenas Mineras activas y pasivas.

Un segundo proyecto, es denominado "Bases para la Remediación de Pasivos Ambientales Mineros en Chile" el que se inserta en el Convenio de Cooperación Chile-Alemania. Ejecutan el proyecto SERNAGEOMIN y el Instituto de Geociencias y Recursos Naturales de Alemania (BGR). Proyecto Pasivos Ambientales Mineros – PAM - Una de las primeras actividades realizadas por el proyecto, en conjunto con CEPAL, fue una Conferencia Internacional sobre Pasivos Ambientales Mineros, en noviembre de 2003. En mayo del 2005 se celebró en Santiago la II. Conferencia Internacional sobre Pasivos Ambientales Mineros (PAM), organizada por el Instituto de Geociencias y Recursos Naturales (BGR) de la República Federal de Alemania, el Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN) de Chile y la Comisión Económica de las Naciones Unidas para América Latina y el Caribe (CEPAL).

Los planes de cierre de minas, que en Colombia se establecen en las leyes 685 de 2001, dan pautas para que el titular de la actividad minera rehabilite las áreas que utilizó. Sin embargo, en Colombia existen zonas donde se han cerrado o abandonado actividades mineras sin el control efectivo por causas como la minería ilegal e informal y la falta de seguimiento y control de las autoridades competentes. Los sitios abandonados permanecen como focos de contaminación provocando la disminución de la capacidad de los suelos y generando problemas de salud a poblaciones de las áreas directamente impactadas (Zerraga y Frías 2003).

En Colombia tenemos cinco estudios importantes que se describen a continuación:

- ❖ En el 2002 la Unidad de Planeación Minero Energética –UPME- Econometría, desarrolló una metodología de valoración de pasivos ambientales para el sector eléctrico.
- ❖ En el 2004, Yuparí elabora el Informe “Pasivos ambientales mineros en Sudamérica”.
- ❖ La Secretaría de Productividad y Competitividad del Departamento de Antioquia elabora un estudio con el objetivo de desarrollar una metodología para la determinación de pasivos ambientales en empresas del sector minero a partir de la validación de los indicadores medioambientales más relevantes para la minería (Hincapié 2007).
- ❖ En el 2009 se elabora la propuesta “Metodología para la identificación de los PAM en Colombia”, tesis de maestría realizada por González (2009).
- ❖ El Ministerio de Minas y Energía con el ánimo de formular una política para el sector e implementar herramientas de gestión de pasivos ambientales mineros, para mayo de 2009 lideró la convocatoria para la realización de un proyecto para: “Establecer el marco conceptual y metodológico que permita caracterizar, priorizar y valorar económicamente los pasivos ambientales del sector minero”. No se conocen sus resultados.

También tenemos algunas investigaciones realizadas al respecto.

Tesis: Remoción de metales pesados con carbón activado como soporte de biomasa, Felipe de Jesús Cerino Córdova, 2006: En cuanto a los niveles de contaminación del agua por metales pesados para su eliminación de estos se investigó la combinación

de un método tradicional como la adsorción con un método nuevo como la biosorción, ya que es muy prometedora para reducir los niveles de metales pesados en efluentes provenientes de la pequeña y mediana empresa, se concluyó que se muestra un aumento en la capacidad de adsorción del carbón activado cuando se lleva a cabo una modificación biológica del mismo con biomasa.

Tesis: El agua en la industria minera mexicana. Luis Alberto Pacheco Gutiérrez y María del Carmen Duran de Vazua, 2006: Esta investigación se enfocó al análisis del proceso minero de concentración de sulfuros vía flotación, con el fin de buscar posibles opciones de minimización del consumo de agua y la disminución de su impacto ambiental. Se realizó una comparación del huso de agua en una empresa minera en estudio con lo reportado en la bibliografía. Los resultados obtenidos muestran la necesidad de colocar un espesador a las colas del proceso con el fin de disminuir el consumo de agua fresca en más del 50%.

Tesis: Alternativas de tratamientos de las aguas de los drenajes ácidos de minas: una revisión, Juan Pablo Salazar Giraldo, Marta Lucía Hernández Ángel y Álvaro de Jesús Arango Ruiz, 2010: Se analizan las diversas alternativas de tratamiento de las aguas de los drenajes ácidos de minas y se concluyó que a pesar que existen ya desde hace tiempo tratamientos fisicoquímicos, que aunque efectivos tienen el inconveniente de costos elevados, mantenimiento y generación continua de lodos ricos en oxi-hidróxidos que deben ser continuamente removidos.

Como producto de nuevos desarrollos tecnológicos, los tratamientos biológicos ofrecen una alternativa económica, sostenible y práctica para el tratamiento del drenaje ácido de minas. En este sentido, los porcentajes de remoción de los sulfatos y metales presentes en los drenajes ácidos han arrojado muy buenos resultados en tratamientos biológicos.

Los tratamientos químicos de los drenajes ácidos de minas presentan desventajas ante los tratamientos biológicos por ser más costosos, necesitar más tiempo y generar grandes cantidades de lodos que requieren disposición final especial.

Investigación: Tratamiento de riles del sector minero-metalúrgico y reutilización de las aguas, M. Santander, M. Paiva, R. Silva Y J. Rubio, 2011: Este trabajo resume aspectos relevantes sobre las emisiones líquidas contaminadas; aguas ácidas de

minas y aguas de proceso; generadas en el sector minero-metalúrgico, con énfasis en el análisis de las investigaciones realizadas y tecnologías desarrolladas para la remoción de iones (incluyendo Mo y sulfatos), partículas ultrafinas y coloidales en suspensión. Son analizadas las técnicas y tecnologías de mayor potencial y descrito en detalle sus metodologías, sus aplicaciones, con énfasis en el reutilización de las aguas tratadas. Se resume también la problemática de la remoción de iones sulfatos y se presentan nuevas técnicas para su remoción. Se concluyó lo siguiente:

La reutilización de las aguas tratadas debe ser estrictamente reglamentada para que no ocurran accidentes por problemas de calidad de esta agua (presencia de coliformes, por ejemplo). Por otro lado, criterios muy rigurosos pueden impedir la práctica de reciclaje en la industria.

La práctica de reutilización de agua de procesos industriales (o efluente) tratada es una excelente forma de preservar los recursos naturales y de gestionar el agua, sin embargo, debe realizarse simultáneamente con otras medidas de racionalización del uso del agua y prevención de la contaminación. Además, debe ser debidamente planificada para no generar riesgos en las actividades que la utilizaran. El establecimiento de estándares nacionales para la reutilización de agua, viables técnica y económicamente, y seguro para la salud de la población, es de extrema importancia. Por otro lado, esta legislación puede evitar riesgos y estimular la práctica de reutilización, teniendo una mayor aceptación pública y contribuir a una mayor preservación ambiental.

Tesis: Contaminación de aguas subterráneas por actividades mineras en el área de Sierra Almagrera (Almería), Andrés Navarro Flores y José Luis Mendoza Fuentes, 2006: En este estudio se trata las actividades mineras ligadas a la explotación de sulfuros que pueden generar importantes problemas de contaminación de suelos y aguas subterráneas. Se concluyó lo siguiente:

La contaminación de suelos y aguas subterráneas en el área de Sierra Almagrera (Almería) parece originada por los residuos mineros (escombreras, tailings y escorias de fundición) que han sido depositados sobre el terreno sin ningún tipo de control.

La contaminación en los residuos mineros y sedimentos se caracteriza por la presencia de elevadas concentraciones de Ag, As, Ba, Cu, Fe, Pb, Sb y Zn, habiéndose realizado ensayos de lixiviación en laboratorio que indican una cierta movilidad para el Ba, Fe, Cu, Pb, Sr y Zn, y una escasa movilidad para Ag, As y Sb, coincidente con lo detectado en las aguas subterráneas. Así, en las aguas

subterráneas cercanas a las zonas de vertido de lodos de flotación (tailings) únicamente se detectan cantidades apreciables de metales y metaloides en las aguas de drenaje minero (pozo Encarnación), mientras que en el acuífero aluvial y deltaico sólo aparecen niveles apreciables de Fe y Sr, y valores muy bajos de Cu, Pb y Zn, no detectándose Ag, As y Sb.

En las aguas subterráneas de la zona costera se detectan altos contenidos de Fe, Pb y Zn, que podrían estar relacionados con la disolución de las diversas fases secundarias que aparecen en las escorias de fundición.

Los contaminantes procedentes de los residuos mineros muestran una movilidad muy variable en el terreno y en los depósitos de residuos y controlada por la presencia de una compleja asociación de fases secundarias.

Tesis: Relaves Mineros y sus Efectos en Salud, Medio Ambiente y Desarrollo Económico. Ejemplo de Relave en el Valle de Chacabuco-Polpaico, Andrei N. Tchernitchin y Leandro Herrera, 2006: En el presente trabajo se describen los principales impactos de los procesos de minería en Chile, en especial los procesos extractivos de cobre y minerales asociados, tomando como ejemplo los posibles impactos causados por los relaves mineros en el Valle de Chacabuco-Polpaico. Se concluyó que la ampliación de las áreas de tranques para almacenar relaves mineros, específicamente en el área Ovejería aumentará los impactos negativos en el área de influencia directa del valle de Chacabuco y Polpaico, además que para tener un impacto reducido en el medio ambiente, se proponen las siguientes medidas, que por su menor costo son realizables por la Empresa Minera:

1. Implementar las obras de control de las aguas azules antes de comenzar las obras asociadas a la ampliación.
2. Recircular las aguas claras del tranque de relaves al proceso, es decir, bombearlas de vuelta hacia el lugar donde se realiza el proceso minero de concentrado de mineral, generando un proceso minero más sustentable, de efluente cero, ahorrando aguas y permitiendo el desarrollo de la agricultura limpia.
3. Verificar que existan planes de sellado del tranque de relaves cuando termine su vida útil.
4. Implementar plan de monitoreo de calidad de napas acuíferas aguas abajo por el Valle de Chacabuco y Polpaico.

En Perú debido a la inmensa explotación de los minerales, la contaminación del agua es uno de los problemas más graves que afronta el país en casi la totalidad de los enclaves mineros de la minería trasnacional. En la mina Tintaya de Xstrata donde actualmente el pueblo se está movilizand, por ejemplo, existe una seria crisis ambiental. El reporte por el ingeniero ambiental de Alemania Eike Sophie Humpei, "Monitoreo ambiental participativo-elaboración de una base en el ámbito del proyecto Xstrata Tintaya", incluye muestras representativas de 5 ríos en la vecindad de Xstrata de agosto-setiembre del 2011 en 50 puntos, concluye que las aguas que consumen la comunidad están contaminadas con metales tóxicos. (William Palomino 2012)

La contaminación de las aguas en los alrededores de Hualgayoc se remonta a tiempos antiguos así como es el caso del asiento minero de Hualgayoc el que fue descubierto el 31 de enero de 1771, por el español Rodrigo Torres de Ocaña, y el año 1772 se realizó el hallazgo del yacimiento argentífero más importante de la región denominado cerro Hualgayoc, ubicado en la hacienda Apán de propiedad de José Antonio Blanco, vecino de la villa de Cajamarca. Durante la década de 1770 se produjo una fiebre minera, caracterizada por el crecimiento de trabajadores mineros en condiciones de sobre explotación y opresión, el surgimiento de centros poblados tugurizados, un activo comercio, el estancamiento y retroceso de la actividad agropecuaria lugareña entre otros factores negativos.

## **2.2. Definición de términos básicos**

### **➤ Eficiencia**

O rendimiento de un proceso, capacidad para conseguir un objetivo con el mínimo de recursos posibles; Capacidad medida en porcentaje que tiene la estructura para mejorar la calidad del agua, para aguas contaminadas con procesos mineros, la eficiencia se mide con respecto al pH y a los metales pesados.

### **➤ Agua**

El agua (del latín aqua) es una sustancia cuya molécula está formada por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno (H<sub>2</sub>O). Es esencial para la supervivencia de todas las formas conocidas de vida. El término agua generalmente se refiere a la sustancia en su estado líquido, aunque la misma puede hallarse en su forma sólida llamada hielo, y en su forma gaseosa denominada vapor. El agua cubre el 71 % de la superficie de la corteza terrestre. Se localiza principalmente en los océanos donde se concentra el

96,5 % del agua total, los glaciares y casquetes polares poseen el 1,74 %, los depósitos subterráneos (acuíferos), los permafrost y los glaciares continentales suponen el 1,72 % y el restante 0,04 % se reparte en orden decreciente entre lagos, humedad del suelo, atmósfera, embalses, ríos y seres vivos. El agua es un elemento común del sistema solar, hecho confirmado en descubrimientos recientes. Puede ser encontrada, principalmente, en forma de hielo; de hecho, es el material base de los cometas y el vapor que compone sus colas. (Robin 2006).

**Agua Potable:** Líquido incoloro, insípido e inodoro que se puede encontrar en estado natural o ser producido a través de un proceso de Purificación. Sirve para el consumo humano y animal.

**Agua para consumo humano:** Aquella que se utiliza en el consumo directo y la preparación de alimentos. Sinónimo de agua potable.

**Calidad del agua:** Conjunto de características organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas propias del agua.

**Cloro residual:** Cantidad de cloro que está presente en el agua después de haber transcurrido un período de 30 minutos de contacto de la solución desinfectante con el agua a desinfectar.

**Desinfección:** Destrucción o eliminación de microorganismos presentes en el agua, capaces de producir enfermedades.

**Inspección sanitaria:** Revisión in situ de la fuente de agua, las instalaciones, los equipos, la operación y el mantenimiento de un sistema público de abastecimiento de agua, con el propósito de evaluar si dichos elementos son adecuados para producir y distribuir agua segura.

**Turbiedad:** Falta de transparencia natural, por estar sucio o mezclado con alguna cosa. Sinónimo de enturbiamiento, suciedad y opacidad.

**Aguas dulces:** Agua que surge de forma natural, con baja concentración de sales, y que con frecuencia puede considerarse apta para ser extraída y tratada a fin de producir agua potable.

**Aguas residuales:** Aguas vertidas después de ser utilizadas o producidas en un proceso, que contienen sustancias disueltas y/o en suspensión procedentes de ese proceso.

**Aguas residuales industriales:** Todas las aguas residuales vertidas desde locales utilizados para efectuar cualquier actividad comercial o industrial, que no sean aguas residuales domésticas ni aguas de escorrentía pluvial.

**Frecuencia de muestreo:** Número de muestras representativas tomadas en un período determinado de tiempo, en las diferentes estaciones de muestreo.

**Pasivo ambiental minero (PAM):** Los pasivos ambientales mineros (PAM) se refieren a "un área donde existe la necesidad de restauración, mitigación o compensación por un daño ambiental o impacto no gestionado, producido por actividades mineras inactivas o abandonadas que pone en riesgo la salud, calidad de vida o bienes públicos o privados.

**Área de influencia:** Es el área o espacio geográfico, cuyos componentes ambientales podrían verse afectados luego del cese de las operaciones de la faena o instalación minera.

**Cierre:** Término total de las actividades de una faena o instalación minera, realizado de acuerdo con un plan autorizado y con estricto cumplimiento del marco jurídico ambiental vigente.

**Efecto ambiental negativo:** Materialización de eventos que afectan negativamente la salud y seguridad de las personas y/o el medio ambiente.

**Faena Minera:** Conjunto de instalaciones y lugares de trabajo de la industria minera, tales como minas, plantas de beneficio, fundiciones, refinерías, maestranzas, casas de fuerza, talleres, lugares de embarque y despacho y, en general, la totalidad de las instalaciones de apoyo necesarias para asegurar el funcionamiento de la industria minera.

**Industria Minera:** Designa a todas las actividades correspondientes a exploración de yacimientos, extracción, transformación, concentración, procesamiento, fundición de minerales, refinación y elaboración de productos intermedios, transporte, almacenamiento de desechos y embarque de minerales metálicos y no metálicos, y depósitos naturales de sustancias fósiles. Incluye, además, la apertura de túneles y

otras excavaciones y construcciones realizadas por dicha industria que tengan relación con las actividades indicadas.

**Minimización de riesgos o efectos ambientales:** Actividad que tiene por objetivo disminuir los riesgos y/o efectos ambientales negativos derivados del cese de las operaciones de una faena minera y/o sus instalaciones, que no puedan ser evitados, sobre la salud y seguridad de las personas y el medio ambiente.

**Plan de Cierre:** Documento que especifica un conjunto de acciones que permiten cumplir con los objetivos del cierre de faenas mineras, para lo cual considera una programación global y de detalle, tendiente a lograr el cierre de las operaciones de las mismas en forma ordenada, eficiente, progresiva y oportuna, con estricto cumplimiento del marco jurídico ambiental vigente.

**Riesgo ambiental:** Probabilidad de ocurrencia de eventos que afectarían negativamente la salud y seguridad de las personas y/o el medio ambiente.

## **2.3. Bases teóricas**

### **2.3.1. El recurso agua**

#### **2.3.1.1. Distribución actual del agua en la tierra**

Robín (2006) afirma que el total del agua presente en el planeta, en todas sus formas, se denomina hidrosfera. El agua cubre 3/4 partes (71 %) de la superficie de la Tierra. Se puede encontrar esta sustancia en prácticamente cualquier lugar de la biosfera y en los tres estados de agregación de la materia: sólido, líquido y gaseoso.

El 97 % es agua salada, la cual se encuentra principalmente en los océanos y mares; sólo el 3 por ciento de su volumen es dulce. De esta última, un 1 por ciento está en estado líquido. El 2 % restante se encuentra en estado sólido en capas, campos y plataformas de hielo o banquisas en las latitudes próximas a los polos. Fuera de las regiones polares el agua dulce se encuentra principalmente en humedales y, subterráneamente, en acuíferos.

El agua representa entre el 50 y el 90 % de la masa de los seres vivos (aproximadamente el 75 % del cuerpo humano es agua; en el caso de las algas, el porcentaje ronda el 90 %).

Robín (2006) afirma que la mayor parte del agua terrestre, está contenida en los mares, y presenta un elevado contenido en sales. Las aguas subterráneas se encuentran en yacimientos subterráneos llamados acuíferos y son potencialmente útiles al hombre como recursos. En estado líquido compone masas de agua como océanos, mares, lagos, ríos, arroyos, canales, manantiales y estanques.

El agua desempeña un papel muy importante en los procesos geológicos. Las corrientes subterráneas de agua afectan directamente a las capas geológicas, influyendo en la formación de fallas. El agua localizada en el manto terrestre también afecta a la formación de volcanes. En la superficie, el agua actúa como un agente muy activo sobre procesos químicos y físicos de erosión. El agua en su estado líquido y, en menor medida, en forma de hielo, también es un factor esencial en el transporte de sedimentos. El depósito de esos restos es una herramienta utilizada por la geología para estudiar los fenómenos formativos sucedidos en la Tierra. (Robin 2006).

### **2.3.1.2. El agua en la agricultura**

La mayor parte del agua se destina a la agricultura, y es utilizada para irrigar los cultivos. La agricultura es la actividad que más agua demanda, datos de la UNESCO dicen que menos del 20 % de este total llega a la planta; el resto es un inmenso desperdicio que, además, transporta residuos con sustancias tóxicas que inevitablemente van a parar a los ríos. La relación directa entre recursos hídricos y producción de alimentos es crítica por tanto para una población humana en constante crecimiento. La irrigación absorbe hasta el 90 % de los recursos hídricos de algunos países en desarrollo. La agricultura es un sistema de producción tan antiguo que se ha sabido adaptar a los diferentes regímenes hídricos de cada país: Así, en zonas donde se den abundantes precipitaciones suelen realizarse cultivos de secano, mientras que en zonas más secas son comunes los cultivos de regadío. Más recientemente, y en entornos más adversos, como el desierto se ha experimentado con nuevas formas de cultivo, centradas en minimizar el consumo de agua. En la actualidad una de las vertientes más activas de la investigación genética intenta optimizar las especies que el hombre usa como alimento. También se ha empezado a hablar de agricultura espacial para referirse a los experimentos destinados a difundir la agricultura por otros planetas.

Actualmente la agricultura supone una importante presión sobre las masas naturales de agua, tanto en cantidad como en calidad. Así, el agua que precisan los regadíos supone una disminución de los caudales naturales de los ríos y un descenso de los

niveles de las aguas subterráneas que ocasionan un efecto negativo en los ecosistemas acuáticos. Por ejemplo, en España se riegan 3,4 millones de hectáreas que supone el 7 % de la superficie nacional y emplea el 80 % de los recursos hídricos disponibles.

También el uso de nitratos y pesticidas en las labores agrícolas suponen la principal contaminación difusa de las masas de agua tanto superficial como subterránea. La más significativa es la contaminación por nitratos que produce la eutrofización de las aguas. En España el consumo anual de fertilizantes se estima en 1 076 000 toneladas de nitrógeno, 576 000 toneladas de fósforo y 444 000 toneladas de potasio. La mayor parte de los abonos son absorbidos por los cultivos, el resto es un potencial contaminante de las aguas. (Robin 2006).

### **2.3.1.3. El uso del agua en la industria**

Robín (2006) afirma que la industria precisa el agua para múltiples aplicaciones, para calentar y para enfriar, para producir vapor de agua o como disolvente, como materia prima o para limpiar. La mayor parte, después de su uso, se elimina devolviéndola nuevamente a la naturaleza. Estos vertidos, a veces se tratan, pero otras el agua residual industrial vuelve al ciclo del agua sin tratarla adecuadamente. La calidad del agua de muchos ríos del mundo se está deteriorando y está afectando negativamente al medio ambiente acuático por los vertidos industriales de metales pesados, sustancias químicas o materia orgánica. También se puede producir una contaminación indirecta: residuos sólidos pueden llevar agua contaminada u otros líquidos, el lixiviado, que se acaban filtrando al terreno y contaminando acuíferos si los residuos no se aíslan adecuadamente.

Los mayores consumidores de agua para la industria en el año 2000 fueron: EE.UU. 220,7 km<sup>3</sup>; China 162 km<sup>3</sup>; Federación Rusa 48,7 km<sup>3</sup>; India 35,2 km<sup>3</sup>; Alemania 32 km<sup>3</sup>; Canadá 6 km<sup>3</sup> y Francia 29,8 km<sup>3</sup>. En los países de habla hispana, España 6,6 km<sup>3</sup>; México 4,3 km<sup>3</sup>; Chile 3,2 km<sup>3</sup> y Argentina 2,8 km<sup>3</sup>.

En algunos países desarrollados y sobre todo en Asia Oriental y en el África subsahariana, el consumo industrial de agua puede superar ampliamente al doméstico.

El agua es utilizada para la generación de energía eléctrica. La hidroelectricidad es la que se obtiene a través de la energía hidráulica. La energía hidroeléctrica se produce cuando el agua embalsada previamente en una presa cae por gravedad en una

central hidroeléctrica, haciendo girar en dicho proceso una turbina engranada a un alternador de energía eléctrica. Este tipo de energía es de bajo coste, no produce contaminación, y es renovable.

El agua es fundamental para varios procesos industriales y maquinarias, como la turbina de vapor, el intercambiador de calor, y también su uso como disolvente químico. El vertido de aguas residuales procedentes de procesos industriales causan varios tipos de contaminación como: la contaminación hídrica causada por descargas de solutos y la contaminación térmica causada por la descarga del refrigerante.

Otra de las aplicaciones industriales es el agua presurizada, la cual se emplea en equipos de hidrodemolición, en máquinas de corte con chorro de agua, y también se utiliza en pistolas de agua con alta presión para cortar de forma eficaz y precisa varios materiales como acero, hormigón, hormigón armado, cerámica, etc. El agua a presión también se usa para evitar el recalentamiento de maquinaria como las sierras eléctricas o entre elementos sometidos a un intenso rozamiento.

#### **2.3.1.4. La contaminación y la depuración del agua.**

Los humanos llevamos mucho tiempo depositando nuestros residuos y basuras en la atmósfera, en la tierra y en el agua. Esta forma de actuar hace que los residuos no se traten adecuadamente y causen contaminación. La contaminación del agua afecta a las precipitaciones, a las aguas superficiales, a las subterráneas y como consecuencia degrada los ecosistemas naturales.

El crecimiento de la población y la expansión de sus actividades económicas están presionando negativamente a los ecosistemas de las aguas costeras, los ríos, los lagos, los humedales y los acuíferos. Ejemplos son la construcción a lo largo de la costa de nuevos puertos y zonas urbanas, la alteración de los sistemas fluviales para la navegación y para embalses de almacenamiento de agua, el drenaje de humedales para aumentar la superficie agrícola, la sobreexplotación de los fondos pesqueros, las múltiples fuentes de contaminación provenientes de la agricultura, la industria, el turismo y las aguas residuales de los hogares. Un dato significativo de esta presión es que mientras la población desde 1900 se ha multiplicado por cuatro, la extracción de agua se ha multiplicado por seis. La calidad de las masas naturales de agua se está reduciendo debido al aumento de la contaminación y a los factores mencionados. (Robin 2006).

La Asamblea General de la ONU estableció en el año 2000 ocho objetivos para el futuro (Objetivos de Desarrollo del Milenio). Entre ellos estaba el que los países se esforzasen en invertir la tendencia de pérdida de recursos medioambientales, pues se reconocía la necesidad de preservar los ecosistemas, esenciales para mantener la biodiversidad y el bienestar humano, pues de ellos depende la obtención de agua potable y alimentos.

Para ello además de políticas de desarrollo sostenible, se precisan sistemas de depuración que mejoren la calidad de los vertidos generados por la actividad humana. La depuración del agua es el conjunto de tratamientos de tipo físico, químico o biológico que mejoran la calidad de las aguas o que eliminan o reducen la contaminación. Hay dos tipos de tratamientos: los que se aplican para obtener agua de calidad apta para el consumo humano y los que reducen la contaminación del agua en los vertidos a la naturaleza después de su uso. (Robin 2006).

### **2.3.2. Agua y minería en el Perú.**

#### **2.3.2.1. Minería en el Perú.**

Bullón (2012) afirma que desde los albores de la humanidad los procesos productivos han generado modificaciones en las condiciones del ambiente, lo cual no escapa a la industria minero-metalúrgica. Uno de los procesos productivos es la minería, que viene a ser la obtención selectiva de minerales y otros materiales a partir de la corteza terrestre y es una de las actividades más antiguas de la humanidad; casi desde el principio de la edad de piedra ha venido siendo la principal fuente de materiales para la fabricación de herramientas.

El balance entre el desarrollo de las actividades productivas y la protección del medio ambiente, constituye el eje de la actividad humana racional; esto debido a que una industrialización, como la industria minero-metalúrgica, a cualquier costo, no es una alternativa válida, ya que no sería posible sostener un crecimiento a largo plazo y un mejoramiento del nivel de vida, si los cuerpos de agua se llegan a contaminar al grado de no poder ser usados.

El agua es un recurso natural escaso, indispensable para la vida y para el ejercicio de las actividades económicas; es irremplazable, no ampliable por la mera voluntad del hombre, irregular en su forma de presentarse en el tiempo y en el espacio, fácilmente vulnerable y susceptible de usos sucesivos.

Por lo tanto, se trata de un recurso que debe estar disponible no sólo en la cantidad necesaria, sino también con la calidad precisa; esta disponibilidad debe estar subordinada al interés general, puesta al servicio de la población y debe usarse sin degradar el medio ambiente en general, y el recurso en particular, minimizando los costos socioeconómicos

Cómo ya se mencionó, las actividades minero-metalúrgicas y el agua están íntimamente ligadas, y como en toda actividad humana se producen alteraciones,

A partir del año 1990, ante la creciente preocupación de la población, el estado peruano comenzó a producir Legislación al respecto, en forma sostenida. En la actualidad el Ministerio de Energía y Minas es el sector que mayor legislación Ambiental ha producido en el Perú, habiéndose creado un sistema de control, mediante Programas Anuales de Fiscalización de las Normas de Protección y Conservación del Ambiente, continuando en esta labor el Ministerio del Ambiente, con el nombre de Supervisión.

Los efluentes minero-metalúrgicos son específicos de cada empresa minera y/o minero-metalúrgica, y varían de acuerdo a su procedencia y a las actividades productivas de la empresa, incluso una misma empresa puede producir dos o más efluentes de distinta composición; por este motivo las características de las aguas residuales varían ampliamente y no existe un procedimiento único para su depuración. De acuerdo al Decreto Supremo N° 010"-2010-MINAM Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos para las actividades minero-metalúrgicas, Artículo 3°, inciso 3.2, da la siguiente definición:

Efluente líquido de actividades minero-metalúrgicos: es cualquier flujo regular o estacional de sustancia líquida descargada a los cuerpos receptores que proviene de:

a) Cualquier labor, excavación o movimiento de tierras efectuado en el terreno, cuyo propósito es el desarrollo de actividades mineras o actividades conexas, incluyendo exploración, explotación, beneficio, transporte o cierre de minas, así como campamentos, sistemas de abastecimiento de aguas o energía, talleres, almacenes , vías de acceso de uso industrial (excepto de uso público) y otros;

b) Cualquier planta de procesamiento de minerales, incluyendo procesos de trituración, molienda, flotación, separación gravimétrica, separación magnética, amalgamación, reducción, tostación, sinterización, fundición, refinación, lixiviación, extracción por solventes, electrodeposición y otros;

c) Cualquier sistema de tratamiento de aguas residuales asociadas con actividades mineras o conexas, incluyendo plantas de tratamiento de efluentes mineros, efluentes industriales y efluentes domésticos.

d) Cualquier depósito de residuos mineros, incluyendo depósitos de relaves, desmontes, escorias y otros;

e) Cualquier infraestructura auxiliar relacionada con el desarrollo de actividades mineras.

f) Cualquier combinación de los antes mencionados.

Bullón (2012) indica que el tratamiento de las aguas residuales es el conjunto de procesos destinados a alterar las propiedades o la composición física, química o biológica de las aguas residuales, de manera que se transformen en vertidos inocuos más seguros para su transporte, capaces de recuperación y almacenaje, o más reducidos en volumen.

Bullón (2012) también indica que la minería en el Perú tiene una larga historia, si se considera que aún antes de la época prehispánica ya se realizaban actividades mineras y metalúrgicas. La operación de una mina representa un impacto socio-económico importante, ya que un empleo en minería, crea unos tres empleos indirectos en la comunidad en servicios y construcción.

Actualmente el Perú mantiene y cultiva la tradición minera, con la presencia de empresas líderes a nivel internacional, y según la Agencia Geológica de los Estados Unidos (U.S. Geological Survey), en el año 2010 lo situaron como el primer productor mundial de plata, segundo en cobre y zinc, tercero en estaño, cuarto en plomo y molibdeno, sexto en oro, noveno en selenio, décimo segundo en cadmio y décimo séptimo en hierro.

A nivel de Latinoamérica, en cuanto a la minería metálica tradicional, el Perú fue el primer productor de oro, plata, zinc, plomo y estaño, el segundo en cobre, molibdeno mercurio, selenio y cadmio, y el quinto en hierro.

Respecto a la minería no metálica, durante el 2008 el Perú produjo principalmente caliza, piedra, arena, hormigón, arcilla y arcilla refractaria, puzolana, sílice, sal común, coquina, yeso, mármol, calcita, carbón antracita y bituminoso, bentonita, roca fosfórica, talco, boratos, feldespato, travertino, baritina mineral, caolín, mica, diatomita y cal.

### **2.3.2.2. Marco legal.**

Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM Aprueban los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental de Aguas.

Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM Aprueban Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales.

Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM Aprueban Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicas.

### **2.3.2.3. Origen de las fuentes potenciales de generación de aguas residuales en la industria minero-metalúrgica.**

Bullón (2012) indica que las aguas residuales son fundamentalmente las aguas de abastecimiento de una población y/o alguna actividad productiva, a veces, después de haber sido impurificadas por diversos usos. Desde el punto de vista de su origen, resultan de la combinación de los líquidos o desechos arrastrados por el agua, procedentes de las viviendas, instituciones y establecimientos comerciales e industriales, más las aguas subterráneas, superficiales o de precipitación que pudieran agregarse.

Todas estas aguas afectan de algún modo la vida normal de sus correspondientes cuerpos receptores. Cuando este efecto es suficiente para hacer que las mismas no sean susceptibles de una mejor utilización, se dice que están contaminadas. En este contexto una mejor utilización significa que estas puedan ser usadas con fines domésticos, industriales, agrícolas, recreacionales, etc.

Bullón (2012) indica que el volumen y la composición química de las fuentes potenciales de generación de aguas residuales en la industria minero-metalúrgica varían ampliamente, dependiendo de:

- El tipo de operación de minado
- La hidrología de la mina
- La naturaleza del mineral
- Los procesos de beneficio
- Los métodos de disposición en depósitos de relaves
- La localización de los depósitos de relaves
- Los tipos de los depósitos de relaves

Bullón (2012) indica que las principales fuentes potenciales de generación de las aguas residuales en la industria minero-metalúrgica son:

### **A. Aguas de minas**

Las aguas de minas sólo son fuentes potenciales de generación de aguas residuales, sí están acompañadas de:

- Concentraciones de sólidos suspendidos por encima de la norma
- pH por debajo o por encima de las normas
- Altas concentraciones de metales disueltos tales como plomo, cobre, zinc, hierro, manganeso, arsénico, mercurio, selenio, níquel, cadmio y otros.
- Altas concentraciones de metales totales, tales como plomo, cobre, zinc, hierro, manganeso, arsénico, mercurio, selenio, níquel, cadmio y otros
- En cualquiera de estos casos, las aguas de minas necesitarán tratamiento, antes de ser vertidas al ambiente.

### **B. Drenajes ácidos de minas**

Se denominan drenajes ácidos de minas a las aguas ácidas generadas por la minería, que resultan de la oxidación de minerales sulfurados, principalmente por la piritita en presencia de aire, agua y/o bacterias que se alimentan de minerales sulfurosos, dando lugar a la formación de ácido sulfúrico. Las aguas ácidas atacan otros minerales, produciendo soluciones que pueden acarrear elementos tóxicos al ambiente, como cadmio, arsénico y otros elementos que producen contaminación de las aguas. La generación de aguas ácidas puede ocurrir durante la exploración, operación y cierre de una mina. Estas descargas pueden producir desde algunos efectos menores como decoloración local de suelos y drenajes con precipitación de óxidos de hierro, o llegar a una extensa contaminación de sistemas de aguas.

Hay una cierta clasificación de los drenajes de minas y tiene las siguientes denominaciones:

**Muy ácido:** tienen un rango de acidez neta mayor a 300 mg/l de  $\text{CO}_3\text{Ca}$  equivalente

**Moderadamente ácido:** tienen un rango de acidez neta entre 100 y 300 mg/l como  $\text{CO}_3\text{Ca}$

**Débilmente ácido:** con un rango de acidez neta entre 0 y 99 mg/l como  $\text{CO}_3\text{Ca}$

Débilmente alcalino: con una alcalinidad neta menor a 80 mg/l como CO<sub>3</sub>Ca

Fuertemente alcalino: con alcalinidad neta mayor a 80 mg/l como CO<sub>3</sub>Ca

### **C. Relaves**

Los relaves se definen como el desecho mineral sólido de tamaño entre arena y limo, provenientes de los procesos de concentración, y son producidos, transportados y depositados en forma de lodo.

Los relaves son residuos que provienen de los procesos para el tratamiento de los minerales en las plantas concentradoras y son casi siempre transportados desde la concentradora a través de una tubería, en forma de pulpa (mezcla de agua y sólidos), en concentraciones que van de 20 a 50% de sólidos en peso, después de recuperar algo del agua del proceso en tanques conocidos como espesadores. En los depósitos de relaves la pulpa es descargada desde la cresta del dique, y conforme los sólidos se asientan, a partir de la pulpa descargada, se forma una playa de leve inclinación que se extiende desde el punto de descarga hasta la poza de decantación, donde el agua remanente de la pulpa se acumula para ser recirculada a la planta concentradora o ser vertida a un cuerpo receptor, que puede ser una quebrada, un río o una laguna.

Los relaves están compuestos de:

Sólidos suspendidos: constituidos por la ganga y una muy pequeña cantidad de material valioso. Normalmente la parte sólida es roca molida, semejante a la arena, que no se disuelve en el agua, ni sus contenidos metálicos se transforman químicamente

Metales en solución, en pequeñas concentraciones, provenientes de la planta de flotación

Reactivos usados en el proceso: agentes químicos empleados en la flotación como: cianuro de sodio, ditiofosfatos, xantatos, cromatos, sulfitos, sulfato de cobre, sulfato de zinc, ácidos grasos, alcoholes, aceites, y modificadores del pH: como cal, hidróxido de sodio, caliza, carbonato de sodio, ácido sulfúrico y/o sulfuro de sodio entre otros, dependiendo del requerimiento metalúrgico específico de cada operación

El tamaño de los depósitos de relaves condiciona el tiempo de retención, para la sedimentación de las partículas finas (sólidos suspendidos) del relave y la descomposición del cianuro y los compuestos orgánicos.

La mayoría de los reactivos de flotación existen en formas no tóxicas para los humanos y la vida acuática. Generalmente se aplican en pequeñas concentraciones en las operaciones y estos reactivos orgánicos de flotación se descomponen rápidamente y son rara vez responsables de algún impacto ambiental serio

Los relaves derivados de la extracción de metales básicos (cobre, plomo y zinc), y de metales preciosos (oro, plata) son los que dominan la industria minera peruana.

Si las aguas de la descarga de la poza de relaves no cumplen con los Límites Máximos Permisibles, deberá tener un tratamiento adicional, que dependerá de los parámetros que superen dichos límites.

#### **a. Drenaje ácido de relaves (ARD)**

El Drenaje Ácido de Relaves-ARD- se refiere a procesos por los cuales el pH del agua en contacto con los relaves puede disminuir severamente, dando como resultado la disolución y transporte de metales tóxicos disueltos tales como arsénico, plomo, cadmio, y un conjunto de otros, además de un drástico incremento del contenido de los sulfatos. El potencial para ARD es específico para cada cuerpo mineralizado y para sus condiciones físicas y climáticas.

Existen cuatro condiciones para que el drenaje ácido de relaves ocurra:

La primera condición necesaria para que se produzca el ARD es que estén presentes minerales sulfurados en los relaves, principalmente pirita, pero también otras formas aún más reactivas tales como la pirrotita y la marcasita.

La segunda condición es la presencia de aire, el cual hace que las superficies del mineral sulfurado se oxiden, en una reacción compleja que involucra varios pasos químicos, que pueden ser ayudados por bacterias, para formar ácido sulfúrico.

La tercera condición necesaria es que los relaves contengan cantidades insuficientes de otros minerales que consumen ácido (por ejemplo, carbonato de calcio) para neutralizar el ácido

La condición final es que los contaminantes producidos deben ser transportados de los depósitos de relaves hasta los terrenos receptores o aguas superficiales, usualmente por infiltración y drenaje

Considerando el conjunto de estas condiciones que son necesarias para que se presente el problema del ARD, existe la posibilidad de que no se presenten problemas serios si uno de ellos está ausente.

Aún si esto fuera así, el ARD puede desarrollarse en el corto plazo si el ritmo de producción de ácido excede el ritmo de consumo de ácido en un momento dado y, en tal caso, es necesario correr pruebas del tipo cinético en celdas de humedad que simulen condiciones ambientales.

La oxidación de sulfatos puede ser iniciada únicamente si existe oxígeno en los intersticios del depósito de relaves y pueden por lo tanto ser prevenido si este oxígeno es eliminado. Una manera efectiva de hacerlo es manteniendo los espacios vacíos llenos con agua y el depósito totalmente saturado. La oxidación de los sulfatos también puede ser retardada si el ingreso del oxígeno al depósito es restringido, por ejemplo, cubriendo la superficie del depósito de tal manera que la velocidad de difusión del oxígeno a través de la cobertura sea menor que el requerimiento de oxígeno por las reacciones químicas de ARD. Aún si el ARD se ha iniciado dentro del depósito, la dispersión de sus efectos puede ser reducida si hay insuficiente infiltración para transportar los constituyentes disueltos más allá de los límites del depósito mismo. La infiltración puede también ser reducida por coberturas, en combinación con la derivación del agua superficial y un apropiado tratamiento de la superficie del depósito.

#### **2.3.2.4. Métodos o tecnologías para el tratamiento de las aguas residuales de la industria minero-metalúrgica.**

La solución al problema de las aguas residuales tiene los siguientes enfoques:

- Evitar la formación de aguas residuales
- Disminuir la producción de aguas residuales: Un caso concreto se da en las cunetas de coronación y de escorrentías que se construyen para proteger las desmonteras, las laderas y los taludes que conforman el relieve topográfico, y para captar las aguas de escorrentía en las épocas de lluvia y dirigir las a los canales de escorrentía, construidos aguas abajo de las desmonteras.

- Tratar las aguas residuales producidas para eliminar o disminuir sus concentraciones.

Los problemas asociados a las aguas residuales que requieren tratamiento son:

- Concentraciones de sólidos suspendidos por encima de la norma
- pH por debajo o por encima de las normas
- Altas concentraciones de metales disueltos tales como plomo, cobre, zinc, hierro, manganeso, arsénico, mercurio, selenio, níquel, cadmio y otros Reactivos químicos del proceso como cianuro, cromo y otros
- Carga bacteriológica de los efluentes domésticos (coliformes termo-tolerantes, demanda bioquímica de oxígeno-DBO, demanda química de oxígeno-DQO, etc.)

Las tecnologías disponibles para el tratamiento de aguas residuales minero-metalúrgicas se basan en eliminar los contaminantes, de acuerdo al estado en que se encuentran los contaminantes en las aguas residuales. Los contaminantes pueden estar como: sólidos suspendidos, como coloides o como sólidos disueltos. Muchas de las tecnologías conocidas no son exclusivas, sino que se combinan para obtener un mejor tratamiento; es así que para eliminar los sólidos disueltos y los coloides, se les trata para precipitarlos como sólidos suspendidos y luego se aplica tecnologías de eliminación de sólidos suspendidos.

Para escoger un determinado proceso para tratar las aguas residuales, se debe tener en cuenta lo siguiente:

- El volumen de las aguas residuales
- La concentración de los elementos contaminantes
- La calidad del efluente deseado
- La disponibilidad de las técnicas de tratamiento y los costos asociados a dichas técnicas

Afin de contar con una visión amplia de estos procesos, a continuación se hace una descripción de los procedimientos disponibles para el tratamiento de aguas residuales, desde los más empleados hasta algunos que están en etapa de experimentación.

Bullón (2012) indica que para el caso del tratamiento de las aguas residuales de la industria minero-metalúrgica se cuenta con los siguientes procesos:

## **A. Separación sólido – líquido.**

### **a. Sedimentación o decantación.**

La sedimentación o decantación es la eliminación de los sólidos suspendidos en un líquido, por asentamiento gravitacional, depositándose los sólidos en el fondo del recipiente. Para que se efectúe la sedimentación, la velocidad del agua debe ser igual a un valor tal que los sólidos se asienten por gravedad, si el tiempo de retención es lo suficientemente grande en el depósito de sedimentación.

La velocidad de asentamiento de las partículas está determinada por: su tamaño, su forma y su densidad, además de la naturaleza del líquido en el cual se encuentran las partículas.

Los equipos donde se lleva a cabo la sedimentación se denominan sedimentadores o clarificadores, existiendo variedades como: los sedimentadores simples, las unidades de contacto de sólidos y los sedimentadores de placas inclinadas.

### **b. Coagulación/floculación**

Los procesos de coagulación y de floculación se emplean para extraer los sólidos que se encuentran suspendidos en el líquido. En este caso se trata de partículas muy pequeñas que no se asientan por la gravedad y que tienen cargas eléctricas del mismo signo, que las mantienen repelidas eléctricamente y que se denominan coloides.

Coloides: materia de tamaño de partículas muy finas, por lo general por debajo de 10 micras (0.01 cm de diámetro). Los coloides están dotados de carga eléctrica del mismo signo, que los mantiene separados. La magnitud de la carga de los coloides se mide en milivoltios y se expresa como potencial zeta. La medida del potencial zeta se usa con éxito para controlar la dosis de coagulantes en las plantas de tratamiento de aguas.

La coagulación es el proceso de desestabilización (neutralización) de las cargas de los coloides y se logra al neutralizar las cargas eléctricas que las mantienen repelidas (separadas). Esto se logra añadiendo coagulantes químicos y aplicando energía de mezclado por corto tiempo (menos de un minuto), para destruir la estabilidad del sistema coloidal y promover la colisión (choque) de las partículas entre sí, para que se aglomeren formando pequeños flóculos.

El cambio de temperatura durante las estaciones, o aún durante el día, afecta el proceso de coagulación, durante las etapas de baja temperatura.

La floculación es la etapa de formación de flóculos de mayor tamaño, capaces de asentarse, a partir de los flóculos iniciales de menor tamaño. Esto se logra añadiendo productos químicos denominados floculantes y que tienen como finalidad reunir a las partículas floculadas en una red, formando puentes de una superficie a otra y enlazando las partículas floculadas en aglomerados. Estos aglomerados tienen el peso y el tamaño suficiente para ser separados por asentamiento en sedimentadores. La floculación es favorecida por un mezclado lento; un mezclado demasiado intenso rompe los flóculos, los cuales después de romperse raramente se pueden llegar a juntar nuevamente.

El sulfato de aluminio y el cloruro férrico son los productos químicos de uso más común, actuando ambos como coagulantes y floculantes a la vez. Existen una gran variedad de productos sintéticos en el mercado, que tienen la función de coagulantes, floculantes o ambas. Cuando en las aguas se presentan gran cantidad de coloides, pueden usarse productos químicos conocidos como poli-electrolitos.

### **c. Filtración**

La filtración consiste en la remoción de partículas suspendidas y coloides presentes en una suspensión acuosa, al pasar a través de un medio poroso. Se usa cuando se quiere obtener un efluente con baja cantidad de sólidos suspendidos o baja turbidez (menor a 1 NTU), que no se pueden conseguir con sólo la sedimentación.

La filtración se puede realizar:

En medio granular: es aplicable en la eliminación de sólidos suspendidos en aguas con contenidos entre 5 y 50 mg/l, cuando se desea un efluente con baja cantidad de sólidos suspendidos o baja turbidez (menor a 1 NTU). Normalmente se usa arena como medio filtrante, usándose también la antracita triturada. Muchas veces se usan lechos de filtración de dos capas: una de arena y otra de antracita, que permiten jornadas de filtración más largas a mayores velocidades de filtración.

A través de membranas: se puede realizar:

Filtración por vacío: los filtros al vacío son normalmente tambores cilíndricos perforados, que giran en una tina que contiene la solución que quiere filtrarse. El vacío se aplica al interior y la separación sólido líquido se efectúa extrayendo el

líquido a través del medio filtrante, dejando los sólidos sobre la membrana (filtro) para que sean colectados por separado.

Filtros prensa: son filtros que operan a presiones entre 100 a 250 lb/pulg<sup>2</sup> y utilizan placas verticales, suspendidas por marcos. El agua pasa a través del medio filtrante y los sólidos se colectan en la superficie del filtro. La operación es discontinua, para permitir la descarga de los sólidos cuando la velocidad de filtración disminuye.

#### **d. Neutralización**

Cuando las aguas de la industria minero-metalúrgica son ácidas, la acidez puede ser neutralizada por la adición de agentes alcalinos.

Los agentes alcalinos más usados son: cal viva, cal hidratada, piedra caliza, caliza en polvo, hidróxido de sodio (soda cáustica), hidróxido de amonio, etc. El escoger alguno de estos materiales estará condicionado por su poder neutralizante y por su costo.

Cuando se usa piedra caliza o caliza en polvo, se debe tener en cuenta que sólo se puede elevar el pH hasta 5.5, debido a que la caliza libera anhídrido carbónico (CO<sub>2</sub>), el cual al combinarse con el agua forma ácido carbónico. Por este motivo sólo se usa como una primera etapa de neutralización, que debe ser seguida de una separación de lodos y luego se puede usar otro agente alcalino, si se requiere de pH más alto.

#### **e. Aireación**

Es un proceso mecánico en el cual se procura un contacto íntimo del aire con el líquido. La aireación puede emplearse para: las siguientes funciones:

Oxidación bioquímica

Oxidación de impurezas inorgánicas como hierro o manganeso.

Remoción de gases disueltos (anhídrido carbónico, ácido sulfhídrico, etc.)

Ayuda en las reacciones de neutralización y/o precipitación

Normalmente la aireación se efectúa en tanques con una profundidad de 3.0 a 4.5 metros y la transferencia de aire se realiza mediante difusores o por agitadores mecánicos.

## **f. Precipitación química**

Cuando los elementos o compuestos químicos que pueden contaminar las aguas se encuentran disueltos, la forma de poder separarlos o removerlos del agua, es mediante la precipitación química, que convierte a los elementos o compuestos solubles, en compuestos insolubles, quedando como sólidos suspendidos. Después de la precipitación los sólidos suspendidos pueden ser removidos directamente por sedimentación o por coagulación -floculación y posterior sedimentación, o por el uso de clarificadores/espesadores, para la separación de los lodos.

En el caso de los elementos metálicos, los compuestos que se trata de formar son hidróxidos o sulfuros de estos elementos metálicos, por ser estos hidróxidos y sulfuros, compuestos que presentan bajas solubilidades.

**Precipitación como hidróxidos:** El método más común, usado para remover los iones metálicos solubles en el agua, es precipitar el ión metálico como hidróxido metálico, ya que la mayoría de los iones de metales pesados solubles precipitan fácilmente al elevar el nivel de pH de la solución, formando el compuesto respectivo de hidróxido de metal, con lo cual los compuestos metálicos en solución se convierten en compuestos insolubles y son precipitados en la solución.

Para conseguir la formación de hidróxidos de los metales disueltos se necesita un agente alcalino que pueda alcanzar un pH alto, como el caso del hidróxido de calcio (lechada de cal), hidróxido de sodio (soda cáustica), hidróxido de potasio y los demás hidróxidos de metales alcalinos o alcalino-térreos.

La cal se usa en forma de lechada para permitir un buen control del pH final deseado, consiguiéndose niveles de pH mayores a 10, pH en el cual precipitan todos los metales pesados.

El pH de precipitación teórico es diferente para cada metal, necesitándose en la práctica pHs entre 9.0 y 10.5 para asegurar la precipitación de todos los metales pesados, consiguiéndose concentraciones de dichos metales, por debajo de los LMP.

Para los casos del hierro ferroso y el cromo hexavalente, muchas veces es necesario previamente convertirlos a hierro férrico y cromo trivalente, antes de precipitarlos, ya que en estos últimos estados son mucho menos solubles. Para el primer caso se puede usar cloro, aireación o permanganato de potasio, y en el segundo caso se puede usar anhídrido sulfuroso o bisulfito de sodio.

Una de las desventajas del uso de la cal en la precipitación química, es el alto volumen de lodos formados y la baja densidad de estos, siendo su mayor ventaja su menor costo.

En el caso de los hidróxidos de sodio o amonio se tiene la ventaja de la formación de pocos sólidos, siendo su desventaja su costo.

La elección del agente alcalino a usar estará en función del costo de operación y de las facilidades de adquisición y uso de cada uno.

Precipitación como sulfuros: con el uso del ión sulfuro como precipitante de los metales pesados se obtienen precipitados con un producto de solubilidad menor que el de los hidróxidos, pero se deberá mantener un pH adecuado, para evitar la redisolución de los sulfuros formados.

Para la precipitación como sulfuros se usan el ácido sulfhídrico, el sulfuro de bario y el sulfuro de sodio como agentes precipitantes. El más usado es el sulfuro de sodio, ya que el uso del ácido sulfhídrico crea muchos inconvenientes de manipulación; incluso cuando se usa el sulfuro de sodio se deben tomar precauciones por la emanación de olores sulfhídricos, cuando este entra en contacto con aguas de bajo pH.

La precipitación como sulfuros se puede usar para la precipitación de todos los metales pesados, pero se usa especialmente para la remoción de mercurio y cromo hexavalente.

La precipitación como sulfuros ofrece la ventaja de producir un precipitado relativamente denso y reciclable, y como consecuencia se tiene un manejo de menor cantidad de lodos y la recuperación de los sulfuros metálicos.

En caso de presentarse exceso de sulfuro en las aguas residuales, este puede ser removido por aireación.

Se debe evaluar el costo del sulfuro, en comparación con otro precipitante, para decidir la forma de precipitación química.

#### **g. Depósitos de relaves**

Los depósitos de relaves se pueden considerar como una forma de tratamiento de las aguas residuales de las plantas concentradoras, ya que mediante estos depósitos se obtienen efluentes con bajo contenido de sólidos en suspensión y se consigue la reducción del contenido de cianuro a valores menores de los límites.

El tamaño de los depósitos de relaves condiciona el tiempo de retención, para la sedimentación de las partículas finas (sólidos suspendidos) del relave y el tiempo para la degradación natural del cianuro

Cuando la calidad de los efluentes de los depósitos de relaves no cumpla los estándares de calidad, se debe contemplar el uso de un tratamiento adicional que garantice el cumplimiento de los estándares de calidad vigentes.

#### **h. Tratamiento de drenaje de ácidos de minas en humedales construidos.**

El término "humedales construidos" se refiere a un área diseñada y construida para contener la planta de humedales a través de la cual, las aguas residuales pasan para ser tratadas. (Pajares 2001).

El propósito de los humedales construidos para tratamiento es permitir que ocurra la reacción química y biológica natural en el sistema de tratamiento, y no en el cuerpo de recepción de agua. Las plantas y los microorganismos desempeñan un papel importante. Las plantas proporcionan un área superficial para microbios y para transportar el oxígeno produciendo una zona de oxidación en la rhizosphere donde adicionalmente existen poblaciones microbianas. Este complejo de vegetación y microbios tiene una alta eficiencia en modificar nutrientes, metales y otros compuestos. (Pajares, 2001).

Pajares (2001) afirma que esta tecnología se está volviendo atractiva para tratamiento de drenaje de mina puesto que él ofrece mayores ventajas sobre el sistema de tratamiento convencional (como método de tratamiento químico). El uso de químicos y energía están virtualmente eliminados. Sin embargo después del tratamiento, el agua puede requerir un tratamiento químico adicional, de tal modo que se ahorra dinero.

Hammer (1989) afirma que debido a sus características cómodas, los humedales construidos están siendo utilizados en muchos países alrededor del mundo mejorando la calidad del agua del drenaje ácido de mina. Los humedales construidos ofrecen varias ventajas porque son:

- Relativamente económicos para construir y operar
- Fáciles de mantener
- Eficaces y confiables para el tratamiento de aguas residuales

- Relativamente tolerantes a los cambios en las tarifas de cargamento hidráulicas y biológica
- Puede proporcionar beneficios ecológicos ,
- Reconocidos como una buena alternativa de tratamiento por muchos reguladores y grupos ambientales.

Sin embargo, algunas desventajas de los humedales construidos incluyen:

- Requisitos de área a ser usada relativamente grandes
- Criterios de diseño y operación actual imprecisos
- Complejidad biológica e hidrológica
- Diferencias en funcionamiento con el cambio de las estaciones
- Posibles problemas con olor y mosquitos

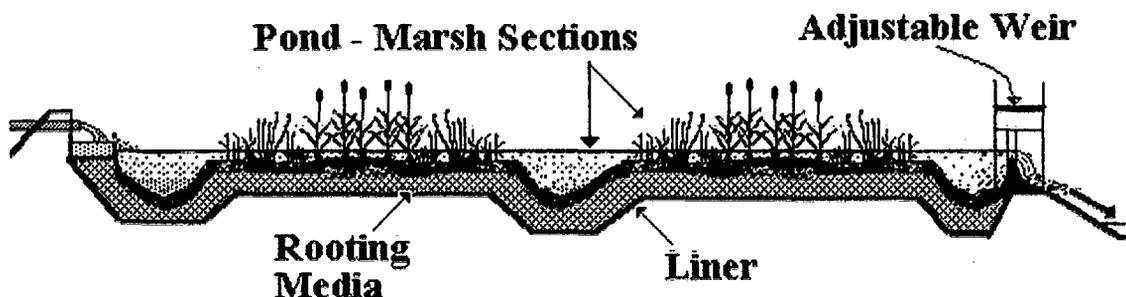
- **Sistemas de humedales superficiales para flujo libre de agua.**

Pajares (2001) indica que este sistema consiste en canales donde el nivel del agua está sobre la superficie de la tierra y la vegetación se arraiga y emerge hacia la superficie. Las bajas velocidades y la presencia de plantas proporciona las condiciones propicias para la sedimentación y la filtración. Biofilms en superficies de la planta transforman a los agentes contaminadores en formas inofensivas.

La mayoría de los humedales de libre agua superficial son charcas bajas con una profundidad de agua de 10 a 50 centímetros. El cuadro 2 ilustra conceptos básicos de humedales superficiales construidos.

Witthar (1993) indica que un mayor éxito ha sido obtenido con humedales superficiales en tratamiento de drenaje de ácidos de mina debido al bajo mantenimiento requerido para su funcionamiento.

Figura 1. Sistema de aguas superficiales.



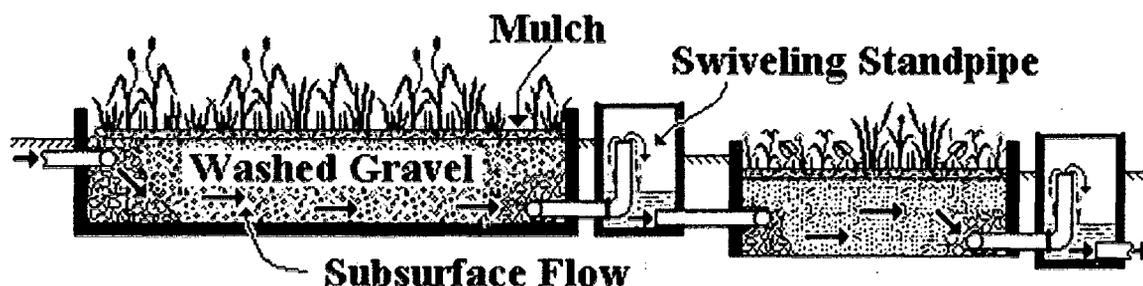
- **Humedales subterráneos para el tratamiento de flujos**

Gamonal (2001) afirma que este sistema consiste en canales donde las aguas residuales se infiltran por un medio poroso, tal como rocas, grava o arena gruesa que utilizan el sistema de raíces de vegetación. Las plantas de humedales fueron desarrolladas para contribuir al retiro y transformación de la contaminación proporcionando áreas superficiales activas biológicamente, a través de la captación de nutrientes y con la creación de una rhizosfera oxidada. La última característica resulta del transporte activo del oxígeno a las raíces sumergidas de las plantas.

Las profundidades están típicamente entre 0,6 y 1,0 m y el fondo del cauce se inclina para reducir al mínimo el flujo del agua por tierra.

Este sistema ofrece algunas ventajas como: (1) menos área requerida, ya que las áreas superficiales para la absorción, filtración y los biofilms son mucho más altos; y (2) se reducen los insectos y los problemas del olor, puesto que las aguas residuales permanecen debajo de la superficie de la grava (EPA, 1993). Pero se debe hacer notar que un problema común encontrado es el inadecuado gradiente hidráulico, que da lugar a flujos superficiales. (Pajares, 2001).

Fig. 2. Sistemas de flujo superficial



- **Los procesos de retiro**

El drenaje ácido de mina principalmente es problemático debido a la alta cantidad de metales disueltos y a la alta acidez en su composición. El tratamiento en humedales construidos está dirigido a la remoción de los metales pesados y al aumento del pH. En esta sección se explican ambos procesos. (Pajares 2001).

- **El retiro del metal**

La aplicación de los humedales para remover los metales en drenaje ácido de minas es relativamente reciente, comenzando en los años 80 (Campbell, 1999). Sin embargo, en los últimos 20 años, el conocimiento referente a esta capacidad de humedales construidos está creciendo y, hoy en día, éstos son altamente apreciados por su alta capacidad de acumular los metales de rastro principalmente por la adsorción, la precipitación y complexation, pero incluso cuando los estudios muestran resultados positivos en el mejoramiento de DAM (Drenaje ácido de mina), las preguntas todavía siguen buscando los mecanismos exactos y a los factores que controlan.

El retiro del metal se asocia altamente a la acción de plantas y de microorganismos. Varios investigadores destacan las capacidades de plantas para contribuir al retiro del metal. Cooper et al. (1996) indica que los macrofitos juegan un papel importante en estos procesos puesto que pueden proveer oxígeno y la materia orgánica a la matriz. (Pajares 2001).

### **2.3.3. Calidad del agua**

El término calidad del agua es relativo y solo tiene importancia universal si está relacionado con el uso del recurso. Esto quiere decir que una fuente de agua suficientemente limpia que permita la vida de los peces puede no ser apta para la natación y un agua útil para el consumo humano puede resultar inadecuada para la industria. Para decidir si un agua califica para un propósito particular, su calidad debe especificarse en función del uso que se le va a dar. Bajo estas consideraciones, se dice que un agua está contaminada cuando sufre cambios que afectan su uso real o potencial. (CEPIS-TOMO I 2006)

Es importante anotar que la evaluación de la calidad del agua se realiza usando técnicas analíticas adecuadas para cada caso. Para que los resultados de estas

determinaciones sean representativos, es necesario dar mucha importancia a los procesos de muestreo y a las unidades y terminología empleadas.

Para una correcta interpretación de los datos obtenidos, los resultados de los análisis deben manejarse estadísticamente, teniendo en cuenta la correlación de iones, los factores que gobiernan el comportamiento de los componentes del agua, etcétera. El uso de gráficos ayuda a mostrar las relaciones físicas y químicas entre el agua, las fuentes probables de contaminación o polución y el régimen de calidad y, por tanto, a realizar adecuadamente la evaluación de los recursos hídricos. (CEPIS-TOMO I 2006)

A continuación se tratan en detalle las principales características fisicoquímicas y biológicas que definen la calidad del agua, el origen de los constituyentes, su importancia en la salud, su relación con los principales procesos de tratamiento y los límites de concentración establecidos por las normas internacionales de calidad de agua para consumo humano. (CEPIS-TOMO I 2006).

#### **2.3.3.1. Características físicas.**

Barrenechea (2000) afirma que Las características físicas del agua son llamadas así porque pueden impresionar a los sentidos (vista, olfato, etcétera), tienen directa incidencia sobre las condiciones estéticas y de aceptabilidad del agua y se consideran importantes las siguientes:

- Turbiedad
- Sólidos solubles e insolubles
- Color
- Olor y sabor
- Temperatura
- PH.

#### **A. Turbiedad**

La turbiedad es originada por las partículas en suspensión o coloides (arcillas, limo, tierra finamente dividida, etcétera). La figura 1 muestra la distribución de las partículas en el agua de acuerdo con su tamaño. La turbiedad es causada por las partículas que

forman los sistemas coloidales; es decir, aquellas que por su tamaño, se encuentran suspendidas y reducen la transparencia del agua en menor o mayor grado.

La medición de la turbiedad se realiza mediante un turbidímetro o nefelómetro. Las unidades utilizadas son, por lo general, unidades nefelométricas de turbiedad (UNT).

## **B. Sólidos y residuos**

Se denomina así a los residuos que se obtienen como materia remanente luego de evaporar y secar una muestra de agua a una temperatura dada. Según el tipo de asociación con el agua, los sólidos pueden encontrarse suspendidos o disueltos.

Las partículas pueden estar:

- Disueltas (hasta un milimicrómetro), en cuyo caso físicamente no influirán en la turbiedad, pero sí podrían definir su color u olor.
- Formando sistemas coloidales (1 a 1.000 milimicrómetros), que son las causantes de la turbiedad neta del agua.
- En forma de partículas suspendidas (por encima de 1.000 milimicrómetros), las cuales caen rápidamente cuando el agua se somete a reposo.
- Es necesario aclarar que las pruebas analíticas para determinar las formas de los residuos no determinan sustancias químicas específicas y solo clasifican sustancias que tienen propiedades físicas similares y comportamiento semejante frente a las diferentes condiciones ambientales.

**Sólidos totales.** Corresponden al residuo remanente después de secar una muestra de agua. Equivalen a la suma del residuo disuelto y suspendido. El residuo total del agua se determina a 103–105 °C.

**Equivalencias:**

**Sólidos totales = sólidos suspendidos + sólidos disueltos**

**Sólidos totales = sólidos fijos + sólidos volátiles**

**Sólidos disueltos o residuos disueltos.** Mejor conocidos como sólidos filtrables, son los que se obtienen después de la evaporación de una muestra previamente filtrada.

Comprenden sólidos en solución verdadera y sólidos en estado coloidal, no retenidos en la filtración, ambos con partículas inferiores a un micrómetro (1  $\mu$ ).

Sólidos en suspensión. Corresponden a los sólidos presentes en un agua residual, exceptuados los solubles y los sólidos en fino estado coloidal. Se considera que los sólidos en suspensión son los que tienen partículas superiores a un micrómetro y que son retenidos mediante una filtración en el análisis de laboratorio.

Sólidos volátiles y fijos. Los sólidos volátiles son aquellos que se pierden por calcinación a 550 °C, mientras que el material remanente se define como sólidos fijos.

La mayor parte de los sólidos volátiles corresponden a material orgánico.

Los sólidos fijos corresponden, más bien, a material inorgánico.

### **C. Color**

Esta característica del agua puede estar ligada a la turbiedad o presentarse independientemente de ella.

Aún no es posible establecer las estructuras químicas fundamentales de las especies responsables del color. Esta característica del agua se atribuye comúnmente a la presencia de taninos, lignina, ácidos húmicos, ácidos grasos, ácidos fúlvicos, etcétera. Se considera que el color natural del agua, excluyendo el que resulta de descargas industriales, puede originarse por las siguientes causas:

- La extracción acuosa de sustancias de origen vegetal
- La descomposición de la materia
- La materia orgánica del suelo
- La presencia de hierro, manganeso y otros compuestos metálicos
- Una combinación de los procesos descritos

En la formación del color en el agua intervienen, entre otros factores, el pH, la temperatura, el tiempo de contacto, la materia disponible y la solubilidad de los compuestos coloreados.

Se denomina color aparente a aquel que presenta el agua cruda o natural y color verdadero al que queda luego de que el agua ha sido filtrada.

Existen muchos métodos de remoción del color. Los principales son la coagulación por compuestos químicos como el alumbre y el sulfato férrico a PH bajos y las unidades de contacto o filtración ascendente.

Debido a que el color del agua se origina, en muchos casos, por la presencia de compuestos de naturaleza orgánica, se recomienda que la desinfección se realice luego de que este haya sido removido, para evitar que la aplicación de cloro como desinfectante pueda dar origen a la formación de trihalometanos, compuestos que tienen efecto cancerígeno en animales.

El valor guía de la OMS y del Canadá es 15 unidades de color (UC) para aguas de bebida.

#### **D. Olor y sabor**

El sabor y el olor están estrechamente relacionados; por eso es común decir que "A lo que huele, sabe el agua".

Estas características constituyen el motivo principal de rechazo por parte del consumidor.

En términos prácticos, la falta de olor puede ser un indicio indirecto de la ausencia de contaminantes, tales como los compuestos fenólicos. Por otra parte, la presencia de olor a sulfuro de hidrógeno puede indicar una acción séptica de compuestos orgánicos en el agua.

Las sustancias generadoras de olor y sabor en aguas crudas pueden ser compuestos orgánicos derivados de la actividad de microorganismos y algas o provenir de descargas de desechos industriales.

En el agua se pueden considerar cuatro sabores básicos: ácido, salado, dulce y amargo.

En algunos casos, la eliminación de los olores puede realizarse mediante la aereación o la adición de carbón activado.

La cloración en presencia de compuestos fenólicos puede imprimir un mal sabor en el agua, por la formación de derivados clorados que producen un sabor a derivados fenólicos.

La OMS recomienda como criterio que por razones organolépticas, las fuentes de abastecimiento deben estar razonablemente exentas de olor y sabor; es decir, en términos generales, que se encuentren en un nivel aceptable.

### **E. Temperatura**

Es uno de los parámetros físicos más importantes en el agua, pues por lo general influye en el retardo o aceleración de la actividad biológica, la absorción de oxígeno, la precipitación de compuestos, la formación de depósitos, la desinfección y los procesos de mezcla, floculación, sedimentación y filtración.

Múltiples factores, principalmente ambientales, pueden hacer que la temperatura del agua varíe continuamente.

### **F. pH**

El pH influye en algunos fenómenos que ocurren en el agua, como la corrosión y las incrustaciones en las redes de distribución.

Aunque podría decirse que no tiene efectos directos sobre la salud, sí puede influir en los procesos de tratamiento del agua, como la coagulación y la desinfección.

Por lo general, las aguas naturales (no contaminadas) exhiben un pH en el rango de 5 a 9.

Cuando se tratan aguas ácidas, es común la adición de un álcali (por lo general, cal) para optimizar los procesos de coagulación. En algunos casos, se requerirá volver a ajustar el pH del agua tratada hasta un valor que no le confiera efectos corrosivos ni incrustantes.

Se considera que el pH de las aguas tanto crudas como tratadas debería estar entre 5,0 y 9,0. Por lo general, este rango permite controlar sus efectos en el comportamiento de otros constituyentes del agua.

Las guías canadienses han establecido el rango de pH 6,5 a 8,5 para el agua potable.

### **2.3.3.2. Características químicas**

Barrenechea (2000) afirma que el agua, como solvente universal, puede contener cualquier elemento de la tabla periódica. Sin embargo, pocos son los elementos significativos para el tratamiento del agua cruda con fines de consumo o los que tienen efectos en la salud del consumidor.

A continuación se sustentan las características e importancia de los principales parámetros químicos relacionados con las fuentes de abastecimiento.

#### **A. Aceites y grasas**

La presencia de aceites y grasas en el agua puede alterar su calidad estética (olor, sabor y apariencia).

El contenido de aceites y grasas en el agua se determina en el laboratorio mediante la extracción de todo el material soluble en un solvente orgánico tal como el hexano. Los resultados se reportan como mg/L de MEH (material extraíble en hexano).

#### **B. Agentes espumantes**

Entre los agentes espumantes se agrupa a todos los compuestos tensoactivos que, por su naturaleza, en mayor o en menor grado, producen espuma cuando el agua es agitada. La causa principal reside en la presencia de residuos de los detergentes domésticos, como el alquil-sulfonato lineal (LAS) y el alquil-sulfonato bencénico ramificado (ABS), entre los más comunes.

Su acción más importante en las aguas superficiales está relacionada con la interferencia en el poder autodepurador de los recursos hídricos, debido a la inhibición de la oxidación química y biológica. Como consecuencia de esto, aun en aguas fuertemente contaminadas, la determinación de la carga orgánica biodegradable (DBO) suele presentar valores bajos. Esto se debe, entre otras causas, a que las bacterias en presencia de detergentes se rodean de una película que las aísla del medio e impide su acción.

Por otro lado, la solubilidad del oxígeno en aguas que contienen detergentes es menor que en aguas libres de ellos. Se disminuye, en consecuencia, la difusión del oxígeno del aire a través de la superficie del agua.

Aunque los detergentes pueden tener estructuras químicas diversas o ser más o menos biodegradables, se ha demostrado que concentraciones menores de 0,5 mg/L no tienen efectos adversos en los procesos de tratamiento ni en la salud.

### **C. Alcalinidad**

Es la capacidad del agua de neutralizar ácidos. Sin embargo, aniones de ácidos débiles (bicarbonatos, carbonatos, hidróxido, sulfuro, bisulfuro, silicato y fosfato) pueden contribuir a la alcalinidad.

La alcalinidad está influenciada por el pH, la composición general del agua, la temperatura y la fuerza iónica.

Por lo general, está presente en las aguas naturales como un equilibrio de carbonatos y bicarbonatos con el ácido carbónico, con tendencia a que prevalezcan los iones de bicarbonato. De ahí que un agua pueda tener baja alcalinidad y un pH relativamente alto o viceversa.

La alcalinidad es importante en el tratamiento del agua porque reacciona con coagulantes hidrolizables (como sales de hierro y aluminio) durante el proceso de coagulación. Además, este parámetro tiene incidencia sobre el carácter corrosivo o incrustante que pueda tener el agua y, cuando alcanza niveles altos, puede tener efectos sobre el sabor.

### **D. Aluminio**

Es un componente natural del agua, debido principalmente a que forma parte de la estructura de las arcillas. Puede estar presente en sus formas solubles o en sistemas coloidales, responsables de la turbiedad del agua. Las concentraciones más frecuentes en las aguas superficiales oscilan entre 0,1 y 10 ppm.

El problema mayor lo constituyen las aguas que presentan concentraciones altas de aluminio, las cuales confieren al agua un pH bajo, debido a sus propiedades anfóteras, que hacen que sus sales se hidrolicen formando ácidos débiles.

Durante el tratamiento es posible remover las sales de aluminio solubles, mediante la formación de hidróxido de aluminio. Sin embargo, es necesario tener mucho control del pH, pues si este sube excesivamente, podría producirse la formación de

aluminatos, nuevamente solubles. La coagulación, en este caso, se realiza mediante polímeros orgánicos, por lo general aniónicos.

Cuando el aluminio se encuentra en el agua cruda, se recomienda usar como coagulantes sales de hierro o polímeros sintéticos. Los coagulantes aluminicos dejan un remanente de metal que, en algunos casos, puede llegar a niveles no deseados.

### **E. Amonio**

Es el producto final de la reducción de las sustancias orgánicas e inorgánicas nitrogenadas y debe su origen a los siguientes factores:

El nitrógeno atmosférico, por fijación química.

Las proteínas animales o vegetales, por putrefacción mediante acción bacteriana.

La reducción de nitritos.

El amoniaco se encuentra en cantidades notables cuando el medio es fuertemente reductor. En un medio oxidante, el ion amonio se transforma en nitrito.

Se le considera un constituyente normal de las aguas superficiales y está íntimamente relacionado con descargas recientes de desagües. Cuando su concentración es mayor de 0,1 mg/L (como N), podría constituirse en un indicador de contaminación por aguas residuales domésticas o industriales.

El amoniaco en las aguas residuales es producido en su mayor parte por la eliminación de compuestos que tienen nitrógeno orgánico y por la hidrólisis de la urea o úrea. En casos menos frecuentes, se puede producir por reducción de nitratos en condiciones anaeróbicas.

El amoniaco es un micronutriente para microorganismos y algas en los sistemas de distribución. Su presencia en el agua favorece la multiplicación de estos.

Este compuesto influye en los procesos de desinfección con cloro e incrementa su demanda debido a la formación de cloramidas.

Por lo general, la eliminación del amoniaco a concentraciones altas se realiza mediante la oxidación con cloro.

## **F. Antimonio**

No es un elemento esencial para la vida de las personas o animales. En el agua puede encontrarse bajo el estado de oxidación III ó V y a concentraciones promedio de 0,6 mg/L. Se lo relaciona con el aumento del colesterol en la sangre.

Las principales fuentes de contaminación de las aguas superficiales con antimonio son las descargas de la industria petrolera, cerámica, electrónica, entre otras.

Debido a que su comportamiento químico es parecido al del arsénico, su proceso de remoción es similar al de este.

## **G. Arsénico**

Puede estar presente en el agua en forma natural. Es un elemento muy tóxico para el hombre.

Se encuentra en forma trivalente o pentavalente, tanto en compuestos inorgánicos como orgánicos.

La toxicidad del As es compleja, pues depende de la vía de exposición, del estado de valencia y de la forma química (inorgánica u orgánica) del compuesto.

El arsénico inorgánico es el responsable de la mayoría de los casos de intoxicación en seres humanos.

El metabolismo del As se realiza principalmente en el hígado, aunque su mecanismo no está bien establecido.

La remoción de arsénico del agua se basa principalmente en su oxidación a su forma pentavalente antes de la coagulación con sulfato férrico a pH de 6 a 8, con alumbre a pH de 6 a 7 o ablandamiento con cal a pH 11. A escala experimental, este método ha permitido una remoción de 90% de arsénico.

## **H. Bario**

Elemento altamente tóxico para el hombre; causa trastornos cardíacos, vasculares y nerviosos (aumento de presión arterial). Se considera fatal una dosis de 0,8 a 0,9 gramos como cloruro de bario (de 550 a 600 miligramos de bario).

La contaminación del agua por bario puede provenir principalmente de los residuos de perforaciones, de efluentes de refinerías metálicas o de la erosión de depósitos naturales.

Las concentraciones halladas en el agua son por lo general muy bajas; varían entre trazas y 0,05 mg/L.

Estudios realizados en las aguas de consumo muestran evidencias de que el bario puede ser absorbido por óxidos e hidróxidos de hierro y manganeso, lo cual explicaría su eliminación durante la coagulación. Sin embargo, existen pruebas que demuestran que el tratamiento convencional mediante coagulantes de aluminio y hierro, con filtración posterior, no es un método particularmente efectivo para la remoción de bario en el agua. Sorg y Logsdon encontraron una eficiencia menor de 30% en pruebas de laboratorio.

Por otro lado, un control adecuado del pH en la planta de ablandamiento del agua mediante cal puede lograr una remoción de 90% del bario (7, 8).

#### **I. Boro**

El boro no se considera un elemento esencial para la nutrición humana.

Existen estudios que demuestran su influencia en el retardo del crecimiento de las plantas.

Estudios realizados en plantas piloto han demostrado gran eficiencia de remoción de boro en los procesos de ablandamiento cal-soda a pH 8,5–11,3 (98%) y, en menor grado, en la coagulación con sulfato férrico.

#### **J. Cadmio**

No es un elemento esencial para la vida del hombre.

La contaminación de las aguas superficiales con este metal pesado puede provenir de la corrosión de los tubos galvanizados, de la erosión de depósitos naturales, de los efluentes de refinerías de metales o de líquidos de escorrentía de baterías usadas o pinturas. Muchos pigmentos usados para la coloración de plásticos o la formulación de pinturas contienen concentraciones elevadas de cadmio.

Este metal pesado es potencialmente tóxico y su ingestión tiene efectos acumulativos en el tejido del hígado y los riñones.

## **K. Cianuro**

Su presencia no es frecuente en aguas naturales.

La concentración de cianuro en aguas superficiales se debe, por lo general, a su contaminación mediante descargas industriales, en especial de galvanoplastia, plásticos, fertilizantes y minería. La extracción de oro usa cantidades importantes de cianuro en procesos que generan efluentes con estos residuos, la mayor parte de los cuales tienen como destino final los ríos y los lagos.

El cianuro es muy tóxico: una dosis de 0,1 mg/L tiene efectos negativos en los peces y una de 50–60 mg/L puede ser fatal para los seres humanos. Los efectos del cianuro sobre la salud están relacionados con lesiones en el sistema nervioso y problemas de tiroides.

La toxicidad del cianuro depende de su concentración, el pH y la temperatura, entre otros factores. Los cianuros alcalinos disueltos se transforman por oxidación en carbonatos alcalinos, lo cual hace que disminuyan extraordinariamente sus propiedades tóxicas.

El organismo humano convierte el cianuro en tiocianato, sustancia de menor toxicidad y de fácil excreción.

## **L. Zinc**

Las aguas naturales pueden contener zinc en concentraciones bastante bajas. En el agua de suministro, el zinc proviene generalmente del contacto con accesorios y estructuras galvanizadas o de bronce.

El zinc es un elemento esencial y benéfico para el metabolismo humano, ya que muchas enzimas dependen de él para la descomposición del ácido carbónico y de la insulina, hormona esencial en el metabolismo de los hidratos de carbono.

## **M. Cloruros**

Las aguas superficiales normalmente no contienen cloruros en concentraciones tan altas como para afectar el sabor, excepto en aquellas fuentes provenientes de terrenos salinos o de acuíferos con influencia de corrientes marinas.

En las aguas superficiales por lo general no son los cloruros sino los sulfatos y los carbonatos los principales responsables de la salinidad.

A partir de ciertas concentraciones, los cloruros pueden ejercer una acción disolvente sobre ciertas sales presentes en el agua y también sobre algunos componentes del cemento, al impartirles una acción corrosiva y erosionante, en especial a pH bajo.

Por sus características químicas y la gran solubilidad de la mayoría de los cloruros, su remoción requiere métodos sofisticados y costosos, muchos de ellos impracticables, especialmente cuando se trata de volúmenes relativamente altos.

El método tradicional, que puede resultar más eficiente y práctico, es el de la destilación. Actualmente se está trabajando en este campo para lograr unidades que aprovechen la energía solar y eliminen los cloruros de manera eficiente y a bajo costo. Este sistema puede resultar especialmente útil en comunidades costeras cuya única fuente sea el agua del mar.

#### **N. Cobre**

Con frecuencia se encuentra en forma natural en las aguas superficiales, pero en concentraciones menores a un mg/L. En estas concentraciones, el cobre no tiene efectos nocivos para la salud.

Se trata de un elemento benéfico para el metabolismo, esencial para la formación de la hemoglobina. La deficiencia de cobre ha sido asociada con la anemia nutricional de los niños.

Sin embargo, si se ingiere agua contaminada con niveles de cobre que superan los límites permitidos por las normas de calidad, a corto plazo pueden generarse molestias gastrointestinales. Exposiciones al cobre a largo plazo podrían causar lesiones hepáticas o renales.

Los peces (principalmente la trucha) son especialmente sensibles a este elemento y se ven indirectamente afectados cuando, al actuar el cobre como alguicida, elimina la capacidad de captación de oxígeno del agua y disminuye el OD a concentraciones tan pequeñas que ya no es posible el desarrollo de estas especies.

La presencia del cobre en el agua está relacionada principalmente con la corrosión de las cañerías en la vivienda, la erosión de depósitos naturales y el percolado de conservantes de madera, entre otros.

En algunos sistemas se aplica sulfato de cobre en dosis controladas como mecanismo para combatir las algas en el agua. Las dosis van de 0,1 a 2 mg/L.

En concentraciones altas, el cobre puede favorecer la corrosión del aluminio y el cinc y cambiar el sabor del agua.

Pruebas de coagulación en laboratorio han reportado una eficiencia en la remoción del cobre de entre 60 a 90% (10), dependiendo del pH y la turbiedad.

#### **O. Cromo**

De las especies normalmente presentes en las aguas superficiales, el Cr (III) es esencial para los seres humanos, pues promueve la acción de la insulina.

En cambio, el Cr (VI) es considerado tóxico por sus efectos fisiológicos adversos.

No se conoce de daños a la salud ocasionados por concentraciones menores de 0,05 mg/L de Cr (VI) en el agua.

El cromo metálico y los derivados del cromo (VI) usualmente son de origen antropogénico.

Por su naturaleza química, el Cr (III) difícilmente se encuentra con un pH mayor de 5, donde el cromo está, por lo general, en forma hexavalente.

#### **P. Dureza**

Corresponde a la suma de los cationes polivalentes expresados como la cantidad equivalente de carbonato de calcio, de los cuales los más comunes son los de calcio y los de magnesio.

Aún no se ha definido si la dureza tiene efectos adversos sobre la salud.

Pero se la asocia con el consumo de más jabón y detergente durante el lavado.

La dureza está relacionada con el pH y la alcalinidad; depende de ambos.

En términos generales, puede considerarse que un agua es blanda cuando tiene dureza menor de 100 mg/L; medianamente dura, cuando tiene de 100 a 200 mg/L; y dura, cuando tiene de 200 a 300 mg/L (en todos los casos, como CaCO<sub>3</sub>).

Las normas de calidad no establecen un límite específico para la dureza en el agua para consumo humano.

## **Q. Fluoruros**

Elemento esencial para la nutrición del hombre. Su presencia en el agua de consumo a concentraciones adecuadas combate la formación de caries dental, principalmente en los niños (0,8 a 1,2 mg/L).

Sin embargo, si la concentración de fluoruro en el agua es alta, podría generar manchas en los dientes ("fluorosis dental") y dañar la estructura ósea.

Algunos países como el Canadá y Estados Unidos han implementado programas de fluorización del agua de consumo como una medida para prevenir la caries dental infantil.

Las principales fuentes de concentraciones contaminantes de flúor en el agua son los efluentes de fábricas de acero y metales o de fábricas de plásticos y fertilizantes.

## **R. Fosfatos**

Las especies químicas de fósforo más comunes en el agua son los ortofosfatos, los fosfatos condensados (piro-, meta- y polifosfatos) y los fosfatos orgánicos. Estos fosfatos pueden estar solubles como partículas de detritus o en los cuerpos de los organismos acuáticos.

Es común encontrar fosfatos en el agua. Son nutrientes de la vida acuática y limitantes del crecimiento de las plantas. Sin embargo, su presencia está asociada con la eutrofización de las aguas, con problemas de crecimiento de algas indeseables en embalses y lagos, con acumulación de sedimentos, etcétera.

Las normas de calidad de agua no han establecido un límite definitivo. Sin embargo, es necesario estudiar la concentración de fosfatos en el agua, su relación con la productividad biológica y los problemas que estos pueden generar en el proceso de filtración y en la producción de olores.

## **S. Hierro**

El hierro es un constituyente normal del organismo humano (forma parte de la hemoglobina). Por lo general, sus sales no son tóxicas en las cantidades comúnmente encontradas en las aguas naturales.

La presencia de hierro puede afectar el sabor del agua, producir manchas indelebles sobre los artefactos sanitarios y la ropa blanca. También puede formar depósitos en

las redes de distribución y causar obstrucciones, así como alteraciones en la turbiedad y el color del agua.

Tiene gran influencia en el ciclo de los fosfatos, lo que hace que su importancia sea muy grande desde el punto de vista biológico. En la naturaleza se presenta en dos formas: asimilable y no asimilable.

En las aguas superficiales, el hierro puede estar también en forma de complejos organoférricos y, en casos raros, como sulfuros. Es frecuente que se presente en forma coloidal en cantidades apreciables.

Las sales solubles de hierro son, por lo general, ferrosas (Fe II) y la especie más frecuente es el bicarbonato ferroso:  $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ .

En contacto con el oxígeno disuelto en el agua, las sales ferrosas se convierten en férricas por oxidación y se precipitan en forma de hidróxido férrico.

Esta precipitación es inmediata con un pH superior a 7,5.

Con un pH mayor de 2,2, el hidróxido férrico es insoluble. El ion ferroso lo es con un pH mayor de 6. De acuerdo con ello, las aguas subterráneas que, por estar fuera del contacto con el aire, se encuentran en un medio natural fuertemente reductor podrán tener en solución cantidades notables de hierro ferroso.

Este metal en solución contribuye con el desarrollo de microorganismos que pueden formar depósitos molestos de óxido férrico en la red de distribución.

La remoción del hierro de las aguas crudas superficiales es relativamente fácil con los procesos comunes de remoción de la turbiedad, mediante los cuales su concentración puede bajar de 10 mg/L a 0,3 mg/L, que es la concentración recomendada para el agua de consumo. Sin embargo, es posible que haya problemas si el hierro está presente en complejos orgánicos inestables.

Por consideraciones de sabor y debido a que los tratamientos convencionales pueden eliminar el hierro en estado férrico pero no el hierro soluble Fe (II).

## **T. Manganeso**

El manganeso es un elemento esencial para la vida animal; funciona como un activador enzimático. Sin embargo, grandes dosis de manganeso en el organismo pueden causar daños en el sistema nervioso central.

Su presencia no es común en el agua, pero cuando se presenta, por lo general está asociado al hierro.

Comúnmente se encuentra en el agua bajo su estado reducido, Mn (II), y su exposición al aire y al oxígeno disuelto lo transforma en óxidos hidratados menos solubles.

En concentraciones mayores a 0,15 mg/L, las sales disueltas de manganeso pueden impartir un sabor desagradable al agua.

La presencia de manganeso en el agua provoca el desarrollo de ciertas bacterias que forman depósitos insolubles de estas sales, debido a que se convierte, por oxidación, de manganeso en solución al estado mangánico en el precipitado.

Esta acción es similar en el hierro.

Por lo general, en el agua es más difícil de controlar el manganeso que el hierro. Su remoción se realiza formando sales insolubles, para lo cual, en muchos casos, es necesario el uso de oxidantes y un pH alto.

## **U. Materia orgánica**

Las aguas naturales, además de sustancias minerales y disueltas, pueden llevar en suspensión sustancias orgánicas provenientes del lavado de los suelos o del metabolismo de los organismos que viven en ellos. Además, los cuerpos de aguas superficiales pueden recibir descargas de aguas residuales de origen doméstico o industrial, las cuales provocan la polución y la contaminación en niveles variables.

Las sustancias provenientes del lavado de suelos son principalmente ácidos húmicos, mientras que las producidas por el metabolismo de los organismos acuáticos son los hidratos de carbono, las proteínas, las aminas, los lípidos, etcétera, así como pigmentos, hormonas y vitaminas, que funcionan como catalizadores o inhibidores de las funciones biológicas.

Las sustancias provenientes de los desechos animales son principalmente derivados de la urea o úrea, la cadaverina y la putrescina, entre otros.

Estas sustancias orgánicas representan una fuente de alimentación para los organismos (autótrofos y heterótrofos) presentes en el agua. Tienden a desaparecer progresivamente por oxidación, y pasar a CO<sub>2</sub>, amoníaco, nitritos, nitratos, etcétera.

Por lo general, las aguas naturales no contaminadas presentan cantidades mínimas de materia orgánica, salvo aquellas que provienen de bosques o aguas estancadas.

La materia orgánica puede ser, en muchos casos, la responsable del color, el olor y el sabor del agua, los cuales deben ser eliminados durante el tratamiento a fin de hacerla apta para el consumo humano.

La eliminación de la materia orgánica se lleva a cabo mediante la coagulación-floculación, la sedimentación y la filtración

Por la naturaleza de estos parámetros, las normas de calidad de agua establecen que los causantes de la contaminación orgánica deben estar ausentes en las aguas para consumo humano.

#### **V. Mercurio**

Se considera al mercurio un contaminante no deseable del agua.

El mercurio es un metal pesado muy tóxico para el hombre en las formas aguda y crónica. En el tracto intestinal las sales mercuriosas son menos solubles que las mercúricas y, por lo tanto, son menos nocivas. Se considera que dosis de 20 y 50 mg/L en la forma mercúrica son fatales.

En el agua, el Hg se encuentra principalmente en forma inorgánica, que puede pasar a compuestos orgánicos por acción de los microorganismos presentes en los sedimentos. De estos, puede trasladarse al plancton, a las algas y, sucesivamente, a los organismos de niveles tróficos superiores como los peces, las aves rapaces e incluso al hombre.

#### **W. Nitritos y nitratos**

El nitrógeno es un nutriente importante para el desarrollo de los animales y las plantas acuáticas. Por lo general, en el agua se lo encuentra formando amoníaco, nitratos y nitritos.

Si un recurso hídrico recibe descargas de aguas residuales domésticas, el nitrógeno estará presente como nitrógeno orgánico amoniacal, el cual, en contacto con el oxígeno disuelto, se irá transformando por oxidación en nitritos y nitratos.

Este proceso de nitrificación depende de la temperatura, del contenido de oxígeno disuelto y del pH del agua.

La OMS establece un valor guía provisional de 50 mg/L (N-NO<sub>3</sub>) y 3 mg/L (N-NO<sub>2</sub>), mientras que el Canadá recomienda un máximo de 10 mg/L para el primero y un mg/L para el segundo.

#### **X. Plata**

No es un componente propio de las aguas naturales.

Se considera que en las personas que ingieren agua con cantidades excesivas de plata pueden presentar decoloración permanente e irreversible de la piel, los ojos y las membranas mucosas.

Todos los estudios que se han hecho sobre este elemento y sus posibles efectos son preliminares, por lo cual no se puede postular límites sobre los niveles que afectan la salud humana.

El proceso de floculación puede lograr una eficiencia de entre 70 y 80% mediante sulfato férrico con un pH entre 7 y 9 ó sulfato de aluminio con un pH entre 6 y 8. También ofrece buenos resultados el ablandamiento con cal con un pH entre 7 y 9.

Debido a que no hay suficiente información, las guías canadienses consideran que el límite no debe excederse de 0,05 mg/L en agua de consumo humano. Sin embargo, la OMS considera que no es necesario recomendar un límite de concentración de plata en el agua de bebida, debido a que con concentraciones normalmente encontradas en ella, no se han detectado daños en la salud de los consumidores.

#### **Y. Plomo**

Las fuentes naturales por lo general contienen plomo en concentraciones que varían notoriamente. Se pueden encontrar desde niveles tan pequeños como trazas hasta concentraciones importantes que contaminan definitivamente el recurso hídrico.

El plomo es un metal pesado en esencia tóxico; puede provocar en el hombre intoxicaciones agudas o crónicas. Es causa de la enfermedad denominada saturnismo.

## **Z. Sulfatos**

Los sulfatos son un componente natural de las aguas superficiales y por lo general en ellas no se encuentran en concentraciones que puedan afectar su calidad.

Pueden provenir de la oxidación de los sulfuros existentes en el agua y, en función del contenido de calcio, podrían impartirle un carácter ácido.

Los sulfatos de calcio y magnesio contribuyen a la dureza del agua y constituyen la dureza permanente. El sulfato de magnesio confiere al agua un sabor amargo.

Un alto contenido de sulfatos puede proporcionar sabor al agua y podría tener un efecto laxante, sobre todo cuando se encuentra presente el magnesio.

Este efecto es más significativo en niños y consumidores no habituados al agua de estas condiciones.

Cuando el sulfato se encuentra en concentraciones excesivas en el agua ácida, le confiere propiedades corrosivas.

La remoción de sulfato puede resultar costosa y requerir métodos complicados, por lo cual es preferible elegir fuentes naturales con niveles de sulfato por debajo de los límites aconsejados.

Por sus efectos laxantes, su influencia sobre el sabor y porque no hay métodos definidos para su remoción, la OMS recomienda que en aguas destinadas al consumo humano, el límite permisible no exceda 250 mg/L, pero indica, además, que este valor guía está destinado a evitar la probable corrosividad del agua. Las Guías de Calidad para Agua de Bebida del Canadá recomiendan un máximo de 500 mg/L.

### **2.3.3.3. Estándares nacionales de calidad ambiental para agua**

El Ministerio del Ambiente dictó las normas para la implementación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua, como instrumentos para la gestión ambiental por los sectores y niveles de gobierno involucrados en la conservación y aprovechamiento sostenible del recurso agua.

### **Marco Legal para la Evaluación de la calidad de Agua:**

Los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua (ECA) D.S N° 002-2008-MINAM: Tiene como objetivo establecer el nivel de concentración o el grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en el agua, en su condición de cuerpo receptor y componente básico de los ecosistemas acuáticos que no representa riesgos significativos para la salud de las personas ni para el medio ambiente.

Los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental clasifican los cuerpos de agua del país respecto a sus usos, ya sean terrestres o marítimos. Para evaluar la calidad de las aguas del pozo situado en el campamento Nuevo Mundo, se tomará como referencia la clasificación según Categoría 1: A2 (Población recreacional – Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional).

Ley de Recursos Hídricos, Ley N° 29338: La protección de los recursos hídricos estuvo regulada anteriormente en el Perú por la Ley General de Aguas (Decreto Legislativo N° 17752 y sus Modificaciones), Desde el 31 de Marzo del 2009 entró en vigencia la Ley de Recursos Hídricos N° 29338, que tiene por finalidad regular el uso y gestión integrada del agua, la actuación del Estado y los particulares en dicha gestión, así como en los bienes asociados a ésta, promoviendo la gestión integrada de los recursos hídricos con el propósito de lograr eficiencia y sostenibilidad en la gestión por cuencas hidrográficas y acuíferos, para la conservación e incremento de la disponibilidad del agua, así como para asegurar la protección de su calidad.

Posteriormente se publicó la Resolución Jefatural N° 0291-2009-ANA promulgada por la Autoridad Nacional de Agua con vigencia hasta el 31 de marzo del 2010, El decreto Supremo N° 023-2009 -MINAM, en su artículo 8,1 establece que a partir del 1 de abril del 2010, los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, son referente obligatorio para el otorgamiento de las Autorizaciones de Vertimiento; y en su artículo 3,1 indica que la Autoridad Nacional del Agua, a efecto de asignar la categoría a los cuerpos de agua respecto a su calidad, deberá utilizar las categorías establecidas en los ECA para agua vigentes, es por esto que la Dirección de Conservación y Planeamiento de Recursos Hídricos propuso la clasificación de los cuerpos de agua tomando en cuenta el Decreto supremo N° 002-2008-MINAM y según Resolución Jefatural N° 202-2010-ANA.

**Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de  
Actividades Minero – Metalúrgicas – DECRETO SUPREMO N° 010-2010-MINAM**

**Tabla N° 01**

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Limite en cualquier momento</b>	<b>Limite para el Promedio anual</b>
pH		6 - 9	6 - 9
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	50	25
Aceites y Grasas	mg/L	20	16
Cianuro Total	mg/L	1	0,8
Arsénico Total	mg/L	0,1	0,08
Cadmio Total	mg/L	0,05	0,04
Cromo Hexavalente(*)	mg/L	0,1	0,08
Cobre Total	mg/L	0,5	0,4
Hierro (Disuelto)	mg/L	2	1,6
Plomo Total	mg/L	0,2	0,16
Mercurio Total	mg/L	0,002	0,0016
Zinc Total	mg/L	1,5	1,2

Fuente: DECRETO SUPREMO N° 010-2010-MINAM.

- = Los valores indicados en la columna “Limite en cualquier momento” son aplicables a cualquier muestra colectada por el Titular Minero, el Ente Fiscalizador o la Autoridad Competente, siempre que el muestreo y análisis hayan sido realizados de conformidad con el Protocolo de Monitoreo de Aguas y Efluentes del Ministerio de Energía y Minas; en este Protocolo se establecerán entre otros aspectos, los niveles de precisión, exactitud y límites de detección del método utilizado.
- Los valores indicados en la columna “Promedio anual” se aplican al promedio aritmético de todas las muestras colectadas durante el último año calendario previo a la fecha de referencia, incluyendo las muestras recolectadas por el Titular Minero y por el Ente Fiscalizador siempre que éstas hayan sido recolectadas y analizadas de conformidad con el Protocolo de Monitoreo de Aguas y Efluentes del Ministerio de Energía y Minas.

## CAPITULO III

### MATERIALES Y METODOS

#### 3.1. Diseño metodológico

##### 3.1.1. Tipo de investigación

Tabla 02. Tipificación de la investigación según los criterios más importantes

<b>Criterio</b>	<b>Tipo de investigación</b>
Finalidad	Aplicada
Estratégica o enfoque teórico metodológico	Cuantitativa
Objetivos (alcances)	Explicativos
Fuente de datos	Primaria (de datos primarios)
Control en el diseño de la prueba	No experimental
Temporalidad	Longitudinal.
Contexto donde se realizará	Campo
Intervención disciplinaria	Multidisciplinaria.

Fuente: Vиейtes (2004), Estrada (1994); Ruíz-Rosado (2006)

##### 3.1.2. Procedimiento

###### **Técnicas de Procesamiento de la Información:**

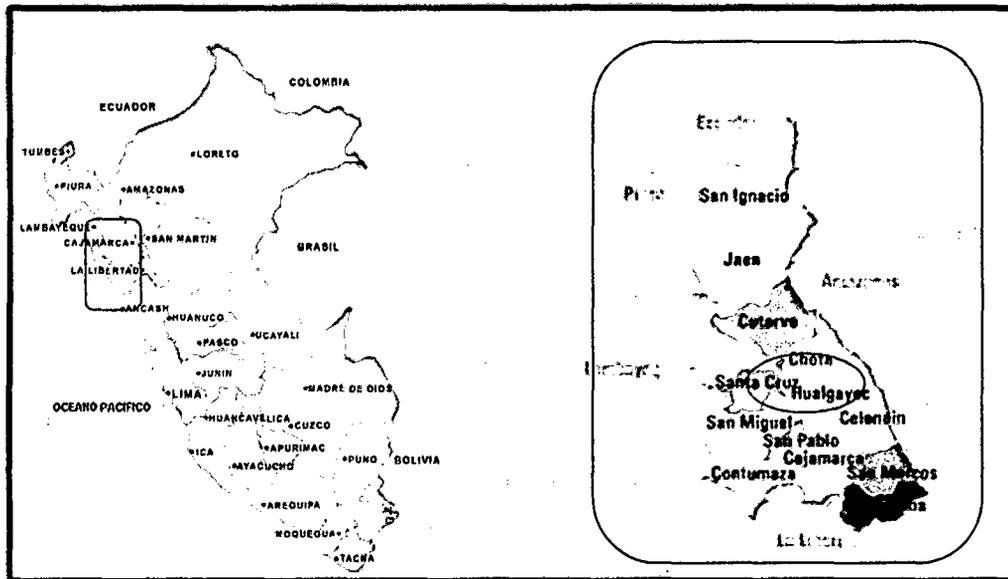
El procesamiento de los datos se realizó en forma manual y computarizada. Una vez que se realizó la recolección de las muestras de agua en el campo, se trasladó al laboratorio de química de la Universidad Nacional de Cajamarca para su análisis respectivo, luego de haber obtenido los resultados se procedió a tabularlos de manera sistematizada y se calculó la eficiencia respectiva .

### 3.1.3. Localización

La zona en estudio, se encuentra políticamente ubicado en el departamento de Cajamarca, provincia y distrito de Hualgayoc, a 94 Km. de la ciudad de Cajamarca, en la sierra Nor- Occidental del Perú. Ver Figura N° 3 y 4.

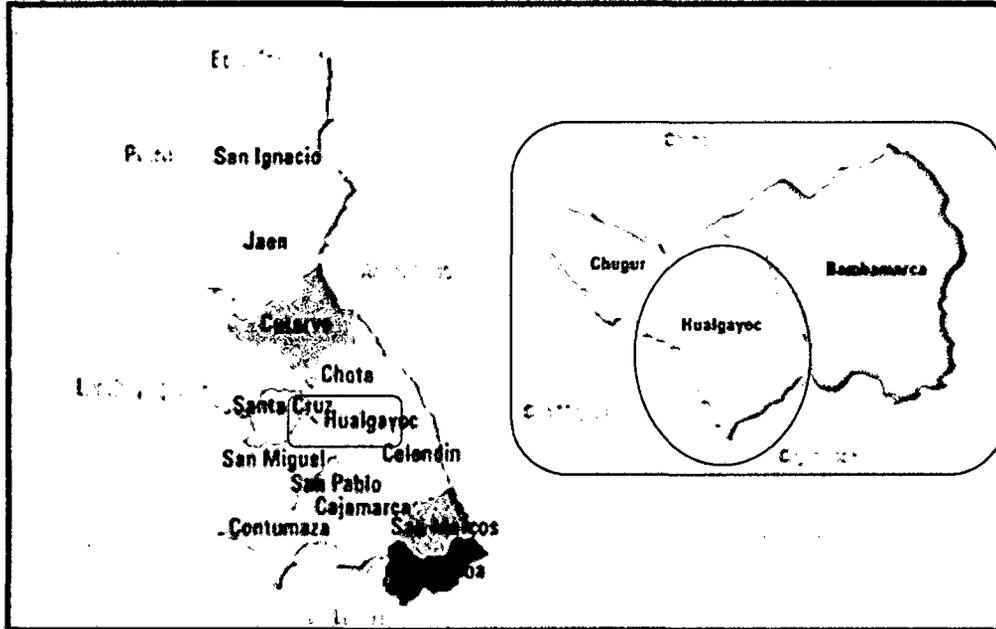
**Figura N° 3**

**Ubicación del Área Estudio: Provincial (Departamento de Cajamarca y Provincia de Hualgayoc)**



**Figura N° 4**

**Ubicación del Área de Estudio: Distrital (Departamento de Cajamarca, Provincia de Hualgayoc, distrito del mismo nombre)**



### **3.1.4. Población y muestra**

#### **Población**

Se construyó 20 estructuras de las cuales 10 serán de la mina banco minero y otras 10 serán de la mina la tahona

#### **Muestra**

El análisis se hizo en 6 estructuras, en 3 pertenecientes a la mina Banco Minero y tres pertenecientes a la mina la Tahona.

### **3.1.5. Descripción del diseño.**

#### **3.1.5.1. Estructura construida a través de filtro.**

Esta estructura se construyó a través de filtro: Casi toda la estructura está construida dentro de la bocamina, Consistió en la construcción de un muro en la parte interior que servirá para embalsar el agua y a la vez de sedimentador, luego se construyó un muro en la boca de la cueva o bocamina que sirve de tapón o sello, este muro esta herméticamente cerrado, a través de este muro en la parte central aproximadamente pasa un sifón que conducirá el agua del filtro, el filtro está ubicado de tras del muro tapón o sello, se extiende hasta el primer muro construido dentro de la bocamina, el filtro está constituido por piedra caliza y arena fina, las dimensiones de esta estructura depende del caudal del agua en cada bocamina, el sifón expulsara el agua hacia el exterior, la calidad de esta agua nos arrojará los análisis periódicos una vez puesta en funcionamiento dicha estructura.(el detalle de este diseño se presenta en un plano en anexos).

#### **3.1.5.2. Estructura construida a través de posas de sedimentación o muros sedimentadores.**

Esta estructura se construyó a través de pozas de sedimentación o muros sedimentadores: Casi toda la estructura está construida dentro de la bocamina, Consistió en la construcción de un muro en la parte interior que sirve para embalsar el agua y a la vez de sedimentador, más adelante en dirección a la salida aproximadamente a 3 metros del anterior se construirá otro muro de menor altura al anterior que servirá de sedimentador, luego a tres metros aproximadamente se construirá otro muro que estará ubicado en la boca de la cueva o bocamina que servirá de tapón o sello, este muro está herméticamente cerrado, a través de este muro en la parte central aproximadamente pasa un sifón que conducirá el agua de las pozas sedimentadoras formadas por los muros construidos hacia el exterior , las dimensiones de esta estructura depende del caudal del agua en cada bocamina, el sifón expulsara el agua hacia el exterior a través de 2 tuberías, la calidad de esta agua nos arrojará los análisis periódicos una vez puesta en funcionamiento dicha estructura .(el detalle de este diseño se presenta en un plano en anexos)

### 3.2. Tratamiento y análisis de datos y presentación de resultados

Se realizó un análisis de los datos teniendo en cuenta la época en que se tomaron las muestras.

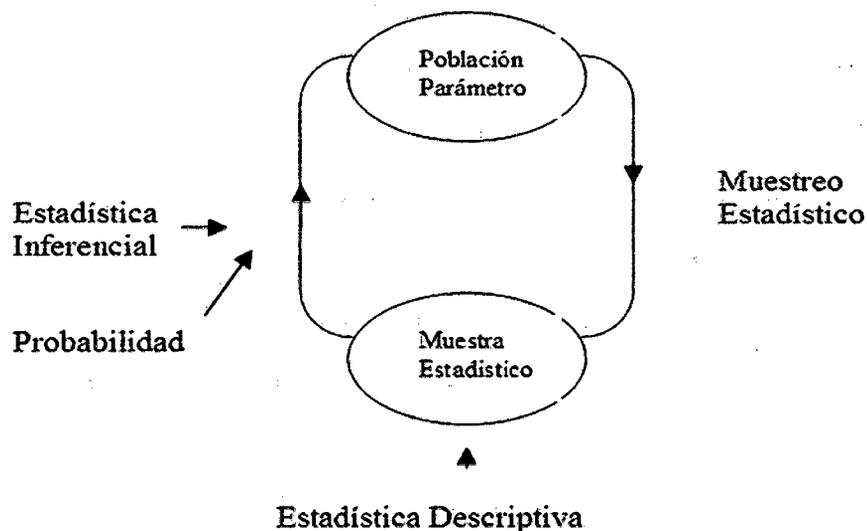
#### 3.2.1. Métodos estadísticos univariados y multivariados

La Estadística es la ciencia donde se aprende acerca de la población a partir de la información recolectada de una muestra extraída de ella. La Estadística comprende los métodos usados para recolectar la muestra, la organización y presentación de los datos recolectados y la extracción de conclusiones mediante la aplicación de técnicas adecuadas a los datos de la muestra.

**Estadística Descriptiva:** Conjunto de técnicas y métodos que son usados para recolectar, organizar, y presentar en forma de tablas y gráficas información numérica. También se incluyen aquí el cálculo de medidas estadísticas de centralidad y de variabilidad.

**Estadística Inferencial:** Conjunto de técnicas y métodos que son usados para sacar conclusiones generales acerca de una población usando datos de una muestra tomada de ella.

**Figura N°05**      **Ciclo del Análisis Estadístico**



Fuente: <http://> Página Web del Dr. Edgar Acuña Fernández.

El ciclo del análisis estadístico comienza con el diseño y selección de la muestra, el procesamiento de los datos junto a la teoría de inferencia estadística estima los parámetros de la población que es validado por otro ciclo similar.

**Tabla N° 3: Resultados de las muestras de agua**

CODIGO DE LA BOCAMINA	FECHA DE TOMA DE LA MUESTRA	FECHA DE RESULTADOS DEL ANALISIS	MUESTRA	ANALISIS ORGANOLEPTICO			ANALISIS FISICO			ANALISIS QUIMICO											
				COLOR	OLOR	SEDIMENTOS	TEMPERATURA °C	PH	SOLIDOS TOTALES ppm	SOLIDOS DISUELTOS ppm	SOLIDOS SUSPENSION ppm	ALCALINIDAD ppm CaCO3	CLORUROS ppm Cl A 1-	DUREZA TOTAL ppm CaCO3	DUREZA CALCOCA ppm CaCO3	DUREZA MAGNESIO ppm CaCO3	MATERIA ORGANICA ppm O2	SULFATOS (SO4) 2-	HIERRO mg Fe/l	ZINC mg Zn / l	PLOMO mg Pb/l
ESTRUCTURA TIPO I																					
AT-LL-1	05/04/2013	07/04/2013	P1	MARRON CLARO	INODORO	PRESENCIA	16.5	1.8	429	242	187	56	92	264	172	92	0.72	136	0.6	3.1	0.07
	05/11/2013	07/11/2013	M1	INCOLORO	INODORO	NULO	17	2.01	410	230	180	12.4	29.6	210	120	90	0.6	130	0.5	2.8	0.02
	05/01/2014	07/01/2014	M7	INCOLORO	INODORO	NULO	18.3	5.4	252	160	92	14.8	88.6	245	160	85	0.38	97.4	0.4	2.5	0.024
ED-LL-6	05/03/2014	07/03/2014	M13	INCOLORO	INODORO	NULO	20	5.04	220	160	60	54.6	50.3	228	168	60	0.4	80.4	0.3	1.02	0.01
	05/04/2013	07/04/2013	P2	INCOLORO	INODORO	PRESENCIA	16	1.5	332	196	136	24	86.2	311	186	125	0.35	166.8	0.84	3.42	0.04
	05/11/2013	07/11/2013	M2	MARRON CLARO	INODORO	PRESENCIA	17.8	1.7	240	140	100	19.4	59.4	230	120	110	0.3	108.4	0.8	3.2	0.03
	05/01/2014	07/01/2014	M8	INCOLORO	INODORO	PRESENCIA	17.3	2.36	282	151	131	13.6	84.4	270	150	120	0.31	96.8	0.74	2.1	0.018
ED-LL-12	05/03/2014	07/03/2014	M14	INCOLORO	INODORO	NULO	20	2.22	320	190	130	6.8	68.4	300	180	120	0.5	165	0.6	2.6	0.03
	05/04/2013	07/04/2013	P3	INCOLORO	INODORO	PRESENCIA	17	1.6	336	184	152	35	90.3	301	155	146	0.52	164	0.62	2.9	0.06
	05/11/2013	07/11/2013	M3	INCOLORO	INODORO	PRESENCIA	18.5	1.94	272	150	122	29.6	84.6	250	150	100	0.32	99.6	0.42	2.8	0.04
	05/01/2014	07/01/2014	M9	INCOLORO	INODORO	PRESENCIA	18.5	5.4	248	154	94	12.6	89.4	220	130	90	0.5	97.8	0.61	2.6	0.05
	05/03/2014	07/03/2014	M15	INCOLORO	INODORO	NULO	20	2.44	330	182	148	7.8	63.3	290	150	140	0.51	162	0.58	2.82	0.04
ESTRUCTURA TIPO II																					
LN-LL-3	05/04/2013	07/04/2013	P4	INCOLORO	INODORO	NULO	17	1.6	321	195	126	25.4	80.6	299	159	140	0.52	164	0.68	2.86	0.068
	05/11/2013	07/11/2013	M4	INCOLORO	INODORO	NULO	18.5	1.87	230	140	90	16.4	62.4	215	130	85	0.32	97.8	0.4	1.8	0.06
	05/01/2014	07/01/2014	M10	INCOLORO	INODORO	NULO	17	1.85	264	142	122	24.6	80.4	220	154	66	0.35	91	0.59	2.4	0.014
	05/03/2014	07/03/2014	M16	INCOLORO	INODORO	NULO	19	2.14	310	190	120	8.8	61.6	284	149	135	0.51	162	0.6	2.73	0.03
LN-LL-6	05/04/2013	07/04/2013	P5	INCOLORO	INODORO	NULO	17	1.7	431	246	185	24.2	80.1	300	168	132	0.42	142	0.62	3.1	0.04
	05/11/2013	07/11/2013	M5	INCOLORO	INODORO	NULO	18	1.88	260	150	110	23.6	79.6	220	130	90	0.36	99.8	0.18	1.3	0.03
	05/01/2014	07/01/2014	M11	INCOLORO	INODORO	NULO	17	1.8	260	150	110	19.7	79.7	230	120	110	0.29	92.4	0.54	2.3	0.015
LN-LL:14	05/03/2014	07/03/2014	M17	INCOLORO	INODORO	NULO	18	3.85	420	240	180	11.8	58.4	280	160	120	0.4	140	0.61	2.9	0.03
	05/04/2013	07/04/2013	P6	MARRON CLARO	INODORO	NULO	16.8	1.8	316	186	130	22.4	80.9	320	192	128	0.838	162	0.62	2.83	0.05
	05/11/2013	07/11/2013	M6	INCOLORO	INODORO	NULO	17.8	5.2	182	110	72	12.6	80.6	293	188	105	0.83	98.3	0.6	2.6	0.04
	05/01/2014	07/01/2014	M12	INCOLORO	INODORO	NULO	17	1.99	256	130	126	21.2	12.4	242	134	108	0.3	92	0.38	2.4	0.014
	05/03/2014	07/03/2014	M18	INCOLORO	INODORO	NULO	19	2.54	290	180	110	9.6	42.8	296	175	121	0.62	159	0.5	2.82	0.04

P: MUESTRAS TOMADAS ANTES DE CONSTRUIRSE LAS ESTRUCTURAS

M: MUESTRAS TOMADAS DESPUES DE CONSTRUIDAS LAS ESTRUCTURAS

**Tabla N° 4: caudal, pH y metales pesados.**

CODIGO DE LA BOCAMINA	FECHA DE TOMA DE LA MUESTRA	FECHA DE RESULTADOS DEL ANALISIS	MUESTRA	CAUDAL l/s	ANALISIS FISICO PH	ANALISIS QUIMICO		
						HIERRO mg Fe/l	ZINC mg Zn / l	PLOMO mg Pb/l
<b>ESTRUCTURA TIPO I</b>								
AT-LL-1	05/04/2013	07/04/2013	P1	6.5	1.8	0.6	3.1	0.07
	05/11/2013	07/11/2013	M1	5	2.01	0.5	2.8	0.02
	05/01/2014	07/01/2014	M7	6	5.4	0.4	2.5	0.024
	05/03/2014	07/03/2014	M13	6.3	5.04	0.3	1.02	0.01
PROMEDIO				5.77	4.15	0.40	2.11	0.02
ED-LL-6	05/04/2013	07/04/2013	P2	30.5	1.5	0.84	3.42	0.04
	05/11/2013	07/11/2013	M2	15	1.7	0.8	3.2	0.03
	05/01/2014	07/01/2014	M8	20.6	2.36	0.74	2.1	0.018
	05/03/2014	07/03/2014	M14	25	2.22	0.6	2.6	0.03
PROMEDIO				20.20	2.09	0.71	2.63	0.03
ED-LL-12	05/04/2013	07/04/2013	P3	7	1.6	0.62	2.9	0.06
	05/11/2013	07/11/2013	M3	5	1.94	0.42	2.8	0.04
	05/01/2014	07/01/2014	M9	6.3	5.4	0.61	2.6	0.05
	05/03/2014	07/03/2014	M15	6	2.44	0.58	2.82	0.04
PROMEDIO				5.77	3.26	0.54	2.74	0.04
<b>ESTRUCTURA TIPO II</b>								
LN-LL-3	05/04/2013	07/04/2013	P4	7	1.6	0.68	2.86	0.068
	05/11/2013	07/11/2013	M4	6	1.87	0.4	1.8	0.06
	05/01/2014	07/01/2014	M10	6	1.85	0.59	2.4	0.014
	05/03/2014	07/03/2014	M16	6.5	2.14	0.6	2.73	0.03
PROMEDIO				6.17	1.95	0.53	2.31	0.03
LN-LL-6	05/04/2013	07/04/2013	P5	7.5	1.7	0.62	3.1	0.04
	05/11/2013	07/11/2013	M5	6.3	1.88	0.18	1.3	0.03
	05/01/2014	07/01/2014	M11	6.5	1.8	0.54	2.3	0.015
	05/03/2014	07/03/2014	M17	7	3.85	0.61	2.9	0.03
PROMEDIO				6.60	2.51	0.44	2.17	0.03
LN-LL-14	05/04/2013	07/04/2013	P6	7.3	1.8	0.62	2.83	0.05
	05/11/2013	07/11/2013	M6	6.6	5.2	0.6	2.6	0.04
	05/01/2014	07/01/2014	M12	6.5	1.99	0.38	2.4	0.014
	05/03/2014	07/03/2014	M18	7	2.54	0.5	2.82	0.04
PROMEDIO				6.70	3.24	0.49	2.61	0.03

P: MUESTRAS TOMADAS ANTES DE CONSTRUIRSE LAS ESTRUCTURAS  
M: MUESTRAS TOMADAS DESPUÉS DE CONSTRUIDAS LAS ESTRUCTURAS

**Tabla N°5: Límites máximos permisibles para agua**

Parámetro	Unidad	Límite en cualquier momento	Límite para el Promedio anual
pH		6 - 9	6 - 9
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	50	25
Aceites y Grasas	mg/L	20	16
Cianuro Total	mg/L	1	0,8
Arsénico Total	mg/L	0,1	0,08
Cadmio Total	mg/L	0,05	0,04
Cromo Hexavalente(*)	mg/L	0,1	0,08
Cobre Total	mg/L	0,5	0,4
Hierro (Disuelto)	mg/L	2	1,6
Plomo Total	mg/L	0,2	0,16
Mercurio Total	mg/L	0,002	0,0016
Zinc Total	mg/L	1,5	1,2

## CAPITULO IV

### ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1. Resultados y Discusiones.

##### Eficiencia estructura tipo I – Mina Banco Minero.

**Tabla N° 6**

COMPARACION DE RESULTADOS ESTRUCTURA AT-LL-1					EFICIENCIA
	MUESTRA P1	Límites máximos permisibles: Descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero – Metalúrgicas DS.010-2010-MINAM	MUESTRA M13	UNIDAD	
	RESULTADO INICIAL (RI)		RESULTADO FINAL (RF)		
<b>ANALISIS FISICO</b>					
PH	1.8	6-9	4.15	unidad de PH	E1 % = 55.95
<b>ANALISIS QUIMICO</b>					
HIERRO	0.6	1.6	0.40	mg/L Fe	E2 % = 40
ZINC	3.1	1.2	2.11	mg /L Zn	
PLOMO	0.07	0.16	0.02	mg /L Pb	
<b>EFICIENCIA DE LA ESTRUCTURA</b>					E% = 48.19

La estructura tiene una eficiencia del 48.19 %, necesitando un tratamiento adicional para PH y Zinc.

**Tabla N° 7**

COMPARACION DE RESULTADOS ESTRUCTURA ED-LL-6					EFICIENCIA
	MUESTRA P1	Límites máximos permisibles: Descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero – Metalúrgicas DS.010-2010-MINAM	MUESTRA M13	UNIDAD	
	RESULTADO INICIAL (RI)		RESULTADO FINAL (RF)		
<b>ANALISIS FISICO</b>					
PH	1.5	6-9	2.09	unidad de PH	E1 % = 13.11
<b>ANALISIS QUIMICO</b>					
HIERRO	0.84	1.6	0.71	mg/L Fe	E2 % = 48
ZINC	3.42	1.2	2.63	mg /L Zn	
PLOMO	0.04	0.16	0.03	mg /L Pb	
<b>EFICIENCIA DE LA ESTRUCTURA</b>					E% = 30.60

La estructura tiene una eficiencia del 30.60 %, necesitando un tratamiento adicional para PH y Zinc.

**Tabla N°8**

COMPARACION DE RESULTADOS ESTRUCTURA ED-LL-12					
	MUESTRA P1	Límites máximos permisibles: Descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero – Metalúrgicas DS.010-2010-MINAM	MUESTRA M13	UNIDAD	EFICIENCIA
	RESULTADO INICIAL (RI)		RESULTADO FINAL (RF)		
<b>ANALISIS FISICO</b>					
PH	1.6	6-9	3.26	unidad de PH	E1 % = 37.73
<b>ANALISIS QUIMICO</b>					
HIERRO	0.62	1.6	0.54	mg/L Fe	E2 % = 24
ZINC	2.9	1.2	2.74	mg /L Zn	
PLOMO	0.06	0.16	0.04	mg /L Pb	
<b>EFICIENCIA DE LA ESTRUCTURA</b>					E% = 30.64

La estructura tiene una eficiencia del 30.64 %, necesitando un tratamiento adicional para PH y Zinc.

**EFICIENCIA ESTRUCTURA TIPO I % = 36.48**

**Eficiencia estructura tipo II – Mina Tahona.**

**Tabla N° 9**

COMPARACION DE RESULTADOS ESTRUCTURA LN-LL-3					
	MUESTRA P1	Límites máximos permisibles: Descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero – Metalúrgicas DS.010-2010-MINAM	MUESTRA M13	UNIDAD	EFICIENCIA
	RESULTADO INICIAL (RI)		RESULTADO FINAL (RF)		
<b>ANALISIS FISICO</b>					
PH	1.6	6-9	1.95	unidad de PH	E1 % = 7.95
<b>ANALISIS QUIMICO</b>					
HIERRO	0.68	1.6	0.53	mg/L Fe	E2 % = 30
ZINC	2.86	1.2	2.31	mg /L Zn	
PLOMO	0.068	0.16	0.03	mg /L Pb	
<b>EFICIENCIA DE LA ESTRUCTURA</b>					E% = 18.92

La estructura tiene una eficiencia del 18.92 %, necesitando un tratamiento adicional para PH y Zinc.

**Tabla N° 10**

COMPARACION DE RESULTADOS ESTRUCTURA LN-LL-6					
	MUESTRA P1	Límites máximos permisibles: Descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero – Metalúrgicas DS.010-2010-MINAM	MUESTRA M13	UNIDAD	EFICIENCIA
	RESULTADO INICIAL (RI)		RESULTADO FINAL (RF)		
	<b>ANALISIS FISICO</b>				
PH	1.7	6-9	2.51	unidad de PH	E1 % = 18.84
<b>ANALISIS QUIMICO</b>					
HIERRO	0.62	1.6	0.44	mg/L Fe	E2 % = 38
ZINC	3.1	1.2	2.17	mg /L Zn	
PLOMO	0.04	0.16	0.03	mg /L Pb	
<b>EFICIENCIA DE LA ESTRUCTURA</b>					E% = 28.52

La estructura tiene una eficiencia del 28.52 %, necesitando un tratamiento adicional para PH y Zinc.

**Tabla N° 11**

COMPARACION DE RESULTADOS ESTRUCTURA LN-LL-14					
	MUESTRA P1	Límites máximos permisibles: Descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero – Metalúrgicas DS.010-2010-MINAM	MUESTRA M13	UNIDAD	EFICIENCIA
	RESULTADO INICIAL (RI)		RESULTADO FINAL (RF)		
	<b>ANALISIS FISICO</b>				
PH	1.8	6-9	3.24	unidad de PH	E1 % = 34.29
<b>ANALISIS QUIMICO</b>					
HIERRO	0.62	1.6	0.49	mg/L Fe	E2 % = 18
ZINC	2.83	1.2	2.61	mg /L Zn	
PLOMO	0.05	0.16	0.03	mg /L Pb	
<b>EFICIENCIA DE LA ESTRUCTURA</b>					E% = 26.10

La estructura tiene una eficiencia del 26.10 %, necesitando un tratamiento adicional para PH y Zinc

**EFICIENCIA ESTRUCTURA TIPO II % = 24.51**

## **CAPITULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1. Conclusiones**

- La eficiencia de la estructuras TIPO I construidas para mejorar la calidad del agua en el cierre de actividades en la mina banco minero es de 36.48%.
- La eficiencia de la estructuras TIPO II construidas para mejorar la calidad del agua en el cierre de actividades en la mina tahona es de 24.51%.
- Se necesita dar un tratamiento adicional al agua que es expulsada a través de las estructuras para estabilizar el pH y zinc.
- La hipótesis es verdadera, la estructuras TIPO I de la mina banco minero es eficiente en un 36.48% y la estructuras TIPO II de la mina tahona es eficiente en un 24.51%.

#### **5.2. Recomendaciones**

- La universidad nacional de Cajamarca debe impulsar la investigación en estos temas a fin de contar con soluciones óptimas al tratamiento de las aguas, líquido elemento que ha sido tema de conflictos sociales en el departamento de Cajamarca. Ya que la calidad de vida de la población depende directamente de la salud y la salud depende de la calidad del agua que consumimos.
- Con respecto al diseño el Ministerio de Energía y Minas en próximos proyectos debe considerar el mantenimiento de las estructuras, con el cual los actuales diseños no cuentan.
- Con respecto al diseño el Ministerio de Energía y Minas en próximos proyectos debe considerar complementos al diseño de las estructuras, para tener garantizado la buena calidad del agua en todos los aspectos ya que los diseños construidos cuentan con deficiencias.
- El Ministerio Nacional del Ambiente y otras instituciones encargadas de velar y monitorear el cuidado del medio ambiente, específicamente del agua deben

tener una supervisión adecuada y minuciosa a los proyectos futuros de remediación, de tal manera que la población se vea beneficiada especialmente con agua de muy buena calidad.

- Para obtener agua de muy buena calidad tanto en la Mina Banco minero como Tahona, se debe implementar un tratamiento adicional a través de una estructura o planta de tratamiento que recoja el agua eliminada de todas las bocaminas a través de las estructuras ya construidas, en las actuales estructuras existen eficiencia baja, tal es el caso del pH y zinc, el pH se estabilizaría agregando una solución alcalina de hidróxido de calcio u óxido de calcio con un control adecuado, para estabilizar el zinc se debe realizar un filtrado con membranas de porosidad mínima o a través de agregado fino lo cual eliminara en gran porcentaje los sólidos en suspensión, el tratamiento que se da para el Zinc es el mismo para otros metales pesados.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

Agüero, R. 2004. *Unidad de Apoyo Técnico en Saneamiento Básico Rural del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente*. Lima: Pirámide. 80 p.

Barrenechea M, A. 2000. *Aspectos Físicoquímicos de la Calidad del Agua*. Lima: CEPIS/OPS. 304 p.

Bullón, JP. 2012. *Tratamiento de aguas en la industria minero-metalúrgica (en línea)*. Lima. Consultado 10 ene. 2014. Disponible en <http://www.monografias.com/trabajos91/tratamiento-aguas-industria-minero-metalurgica/tratamiento-aguas-industria-minero-metalurgica3.shtml>

CEPIS (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente). 1981. *Teoría, Diseño y Control de los Procesos de Clarificación del Agua*. Lima: Washington. 126 p.

CEPIS (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente). 2006. *Tratamiento de Agua para Consumo Humano*. Lima: Washington. 120 p.

Consortio el Dorado. 2012. *Expediente Técnico de la Obra: Remediación de 64 Pasivos Ambientales Mineros de el Dorado*. 200 p.

De la Puente, L. *Legislación Ambiental en la Minería Peruana*. Lima: Realidades S.A. 2005. P 171-172.

Gortari, BH; Gochis, IC y Picazo, JS. 2006. *Tratamiento de Aguas (en línea)*. Argentina. Consultado 2 may. 2014. Disponible en <http://www.aprendizaje.com.mx/Curso/Proceso2/aguas.htm>

Miquel, RL. 1999. *Tratamiento de aguas industriales*. México: Alfaomega. 63 p.

MINAM. Jueves 31 de julio de 2008. D.S N° 002-2008-Normas Legales (en línea). *El Peruano* no 377222. Consultado el 10 abr. 2014. Disponible en [www.elperuano.com.pe](http://www.elperuano.com.pe)

Pajares, PG. 2001. *Tratamiento de drenaje ácido de minas en humedales construidos (en línea)*. Lima. Consultado 8 may. 2014. Disponible en <http://biblioteca.unmsm.edu.pe/redlieds/Recursos/archivos/MineriaDesarrolloSostenible/MedioAmbiente/DAMhumedales.pdf>

Palomino, W. 2012. *Perú Agua Contaminada y Minería (en línea)*. Lima. Consultado 6 ene. 2014. Disponible en <http://www.eldiariointernacional.com/spip.php?article3399>

Vilcapaza, EM. 2008. *Propuesta de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua Subterránea (en línea)*. Lima. Consultado 5 jun. 2014. Disponible en <file:///C:/Users/user/Desktop/inter%20para%20tesiss/LMPERMISIBLE.pdf>

WHO (World Health Organization) / UNICEF. 2006. Cobertura de agua y saneamiento en diversos países de América Latina en 2004 (en línea). Argentina. Consultado 3 feb. 2014. Disponible en [http://es.wikipedia.org/wiki/Agua\\_potable\\_y\\_saneamiento\\_en\\_Am%C3%A9rica\\_Latina](http://es.wikipedia.org/wiki/Agua_potable_y_saneamiento_en_Am%C3%A9rica_Latina)

Washington. 2001. Pan American Health Organization/Division of Health and Environment: Regional Report on the Evaluation in the Region of the Americas (en línea). Argentina. Consultado 3 feb. 2014. Disponible en [http://es.wikipedia.org/wiki/Agua\\_potable\\_y\\_saneamiento\\_en\\_Am%C3%A9rica\\_Latina](http://es.wikipedia.org/wiki/Agua_potable_y_saneamiento_en_Am%C3%A9rica_Latina)

Yupari, A. 2003. Pasivos Ambientales Mineros en Sudamérica. Informe elaborado para la Comisión Económica para América Latina y el Caribe – CEPAL, el Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales – BGR, y el Servicio Nacional de Geología y Minería – SERNAGEOMIN (en línea). Colombia. Consultado 16 de mar. 2008. Disponible en <http://www.eclac.org/dmi/noticias/seminarios/4/13604/Informe%20Pasivos%20Ambientales%20Mineros%20en%20Sudam%C3%A9rica.pdf>.

## ANEXOS

### ANEXO 1

#### Cálculo de la eficiencia de las estructuras.

La eficiencia de cada una de las estructuras, se calcula en base al ph y metales pesados, de la siguiente manera:

#### PARA EL PH:

RI	=	a
RF	=	b
RF-RI	=	c
EFICIENCIA AL 100% SIRF $\geq$		6
EFICIENCIA AL 100% - RI =		d

POR REGLA DE TRES SIMPLE	
d	100
c	E1
E1 % =	n

#### PARA METALES PESADOS:

$$\text{EFICIENCIA} = \frac{\text{MASA DE ENTRADA} - \text{MASA DE SALIDA}}{\text{MASA DE ENTRADA}} \times 100$$

$$\text{MASA DE ENTRADA} = Q \times C$$

Q: Caudal de entrada (l/s)

C: Concentración de entrada de Metales Pesados ( mg/l)

$$\text{MASA DE SALIDA} = Q \times C$$

Q: Caudal de salida (l/s)

C: Concentración de salida de Metales Pesados ( mg/l)

#### COMO TENEMOS TRES METALES PESADOS

#### ENTONCES:

$$\text{MASA DE ENTRADA} = Q \times (C1 + C2 + C3)$$

C1: Concentración de Hierro

C2: Concentración de Zinc

C3: Concentración de Plomo

$$\text{MASA DE SALIDA} = Q \times (C1 + C2 + C3)$$

C1: Concentración de Hierro

C2: Concentración de Zinc

C3: Concentración de Plomo

## Eficiencia estructura tipo I – Mina Banco Minero

**Tabla N° 1**

COMPARACION DE RESULTADOS ESTRUCTURA AT-LL-1					
	MUESTRA P1	Límites máximos permisibles: Descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero–Metalúrgicas DS.010-2010-MINAM	MUESTRA M13	UNIDAD	EFICIENCIA
	RESULTADO INICIAL (RI)		RESULTADO FINAL (RF)		
<b>ANALISIS FISICO</b>					
PH	1.8	6-9	4.15	unidad de PH	E1 % = 55.95
<b>ANALISIS QUIMICO</b>					
HIERRO	0.6	1.6	0.40	mg/L Fe	E2 % = 40
ZINC	3.1	1.2	2.11	mg /L Zn	
PLOMO	0.07	0.16	0.02	mg /L Pb	
<b>EFICIENCIA DE LA ESTRUCTURA</b>					E% = 48.19

QI : CAUDAL INICIAL (l/s) =	6.5
QF : CAUDAL FINAL (l/s) =	5.77

### PROCESAMIENTO DE RESULTADOS

#### EFICIENCIA PARA PH (E1)

RI	=	1.8
RF	=	4.15
RF-RI	=	2.35
EFICIENCIA AL 100% SI RF ≥		6
EFICIENCIA AL 100% -	=	4.2

POR REGLA DE TRES SIMPLE	
4.2	100
2.35	E1
E1 % =	55.95

#### EFICIENCIA PARA METALES PESADOS (E2)

$$\text{EFICIENCIA\%} = \frac{\text{MASA DE ENTRADA} - \text{MASA DE SALIDA}}{\text{MASA DE ENTRADA}} \times 100$$

$$\text{MASA DE ENTRADA} = Q \times C$$

$$\text{MASA DE ENTRADA} = 24.505$$

$$\text{MASA DE SALIDA} = Q \times C$$

$$\text{MASA DE SALIDA} = 14.5981$$

$$E2 \% = 40.43$$

#### EFICIENCIA DE LA ESTRUCTURA

$$E\% = (E1 \% + E2\%) / 2 = 48.19$$

La estructura tiene una eficiencia del 48.19 %, necesitando un tratamiento adicional para PH y Zinc.

**Tabla N° 2**

COMPARACION DE RESULTADOS ESTRUCTURA ED-LL-6					
	MUESTRA P1	Límites máximos permisibles: Descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero – Metalúrgicas DS.010-2010-MINAM	MUESTRA M13	UNIDAD	EFICIENCIA
	RESULTADO INICIAL (RI)		RESULTADO FINAL (RF)		
<b>ANALISIS FISICO</b>					
PH	1.5	6-9	2.09	unidad de PH	E1 % = 13.11
<b>ANALISIS QUIMICO</b>					
HIERRO	0.84	1.6	0.71	mg/L Fe	E2 % = 48
ZINC	3.42	1.2	2.63	mg /L Zn	
PLOMO	0.04	0.16	0.03	mg /L Pb	
<b>EFICIENCIA DE LA ESTRUCTURA</b>					E% = 30.60

QI : CAUDAL INICIAL (l/s) =	30.5
QF : CAUDAL FINAL (l/s) =	20.2

**PROCESAMIENTO DE RESULTADOS**

**EFICIENCIA PARA PH (E1)**

RI	=	1.5
RF	=	2.09
RF-RI	=	0.59
EFICIENCIA AL 100% SI RF ≥		6
EFICIENCIA AL 100% -	=	4.5

POR REGLA DE TRES SIMPLE	
4.5	100
0.59	E1
E1 % =	13.11

**EFICIENCIA PARA METALES PESADOS (E2)**

$$\text{EFICIENCIA\%} = \frac{\text{MASA DE ENTRADA} - \text{MASA DE SALIDA}}{\text{MASA DE ENTRADA}} \times 100$$

$$\text{MASA DE ENTRADA} = Q \times C$$

$$\text{MASA DE ENTRADA} = 131.15$$

$$\text{MASA DE SALIDA} = Q \times C$$

$$\text{MASA DE SALIDA} = 68.074$$

$$\text{E2 \%} = 48.09$$

**EFICIENCIA DE LA ESTRUCTURA**

$$\text{E\%} = (\text{E1 \%} + \text{E2\%}) / 2 = 30.60$$

La estructura tiene una eficiencia del 30.60 %, necesitando un tratamiento adicional para PH y Zinc.

**Tabla N°3**

COMPARACION DE RESULTADOS ESTRUCTURA ED-LL-12					
	MUESTRA P1	Límites máximos permisibles: Descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero – Metalúrgicas DS.010-2010-MINAM	MUESTRA M13	UNIDAD	EFICIENCIA
	RESULTADO INICIAL (RI)		RESULTADO FINAL (RF)		
<b>ANALISIS FISICO</b>					
PH	1.6	6-9	3.26	unidad de PH	E1 % = 37.73
<b>ANALISIS QUIMICO</b>					
HIERRO	0.62	1.6	0.54	mg/L Fe	E2 % = 24
ZINC	2.9	1.2	2.74	mg /L Zn	
PLOMO	0.06	0.16	0.04	mg /L Pb	
<b>EFICIENCIA DE LA ESTRUCTURA</b>					E% = 30.64

QI : CAUDAL INICIAL (l/s) =	7
QF : CAUDAL FINAL (l/s) =	5.77

**PROCESAMIENTO DE RESULTADOS**

**EFICIENCIA PARA PH (E1)**

RI	=	1.6
RF	=	3.26
RF-RI	=	1.66
EFICIENCIA AL 100% SI RF ≥	=	6
EFICIENCIA AL 100% -	=	4.4

POR REGLA DE TRES SIMPLE	
4.4	100
1.66	E1
E1 % =	37.73

**EFICIENCIA PARA METALES PESADOS (E2)**

$$EFICIENCIA\% = \frac{MASA\ DE\ ENTRADA - MASA\ DE\ SALIDA}{MASA\ DE\ ENTRADA} \times 100$$

$$MASA\ DE\ ENTRADA = Q \times C$$

$$MASA\ DE\ ENTRADA = 25.06$$

$$MASA\ DE\ SALIDA = Q \times C$$

$$MASA\ DE\ SALIDA = 19.1564$$

$$E2\ \% = 23.56$$

**EFICIENCIA DE LA ESTRUCTURA**

$$E\% = (E1\ \% + E2\ \%)/ 2 = 30.64$$

La estructura tiene una eficiencia del 30.64 %, necesitando un tratamiento adicional para PH y Zinc.

$$EFICIENCIA\ PROMEDIO\ ESTRUCTURA\ TIPO\ I\ \% = (EFIC.\ AT-LL-1 + EFIC.\ ED- LL6 + EFIC.\ ED-LL-12)/3$$

$$EFICIENCIA\ PROMEDIO\ ESTRUCTURA\ TIPO\ I\ \% = (48.19+30.60+30.64)/3$$

$$EFICIENCIA\ PROMEDIO\ ESTRUCTURA\ TIPO\ I\ \% = 36.48$$

## Eficiencia estructura tipo II – Mina Tahona.

**Tabla N° 4**

COMPARACION DE RESULTADOS ESTRUCTURA LN-LL-3					EFICIENCIA
	MUESTRA P1	Límites máximos permisibles: Descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero – Metalúrgicas DS.010-2010-MINAM	MUESTRA M13	UNIDAD	
	RESULTADO INICIAL (RI)		RESULTADO FINAL (RF)		
<b>ANALISIS FISICO</b>					
PH	1.6	6-9	1.95	unidad de PH	E1 % = 7.95
<b>ANALISIS QUIMICO</b>					
HIERRO	0.68	1.6	0.53	mg/L Fe	E2 % = 30
ZINC	2.86	1.2	2.31	mg /L Zn	
PLOMO	0.068	0.16	0.03	mg /L Pb	
<b>EFICIENCIA DE LA ESTRUCTURA</b>					E% = 18.92

QI : CAUDAL INICIAL (l/s) =	7
QF : CAUDAL FINAL (l/s) =	6.17

### PROCESAMIENTO DE RESULTADOS

#### EFICIENCIA PARA PH (E1)

RI	=	1.6
RF	=	1.95
RF-RI	=	0.35
EFICIENCIA AL 100% SI RF ≥	=	6
EFICIENCIA AL 100% -	=	4.4

POR REGLA DE TRES SIMPLE	
4.4	100
0.35	E1
E1 % =	7.95

#### EFICIENCIA PARA METALES PESADOS (E2)

$$\text{EFICIENCIA\%} = \frac{\text{MASA DE ENTRADA} - \text{MASA DE SALIDA}}{\text{MASA DE ENTRADA}} \times 100$$

$$\text{MASA DE ENTRADA} = Q \times C$$

$$\text{MASA DE ENTRADA} = 25.26$$

$$\text{MASA DE SALIDA} = Q \times C$$

$$\text{MASA DE SALIDA} = 17.71$$

$$E2 \% = 29.89$$

#### EFICIENCIA DE LA ESTRUCTURA

$$E\% = (E1 \% + E2\%) / 2 = 18.92$$

La estructura tiene una eficiencia del 18.92 %, necesitando un tratamiento adicional para PH y Zinc.

**Tabla N° 5**

COMPARACION DE RESULTADOS ESTRUCTURA LN-LL-6					
	MUESTRA P1	Límites máximos permisibles: Descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero-Metalúrgicas DS.010-2010-MINAM	MUESTRA M13	UNIDAD	EFICIENCIA
	RESULTADO INICIAL (RI)		RESULTADO FINAL (RF)		
<b>ANALISIS FISICO</b>					
PH	1.7	6-9	2.51	unidad de PH	E1 % = 18.84
<b>ANALISIS QUIMICO</b>					
HIERRO	0.62	1.6	0.44	mg/L Fe	E2 % = 38
ZINC	3.1	1.2	2.17	mg /L Zn	
PLOMO	0.04	0.16	0.03	mg /L Pb	
<b>EFICIENCIA DE LA ESTRUCTURA</b>					E% = 28.52

QI : CAUDAL INICIAL (l/s) =	7.5
QF : CAUDAL FINAL (l/s) =	6.6

**PROCESAMIENTO DE RESULTADOS**

**EFICIENCIA PARA PH (E1)**

RI	=	1.7
RF	=	2.51
RF-RI	=	0.81
EFICIENCIA AL 100% SI RF ≥		6
EFICIENCIA AL 100% -	=	4.3

POR REGLA DE TRES SIMPLE	
4.3	100
0.81	E1
E1 % =	18.84

**EFICIENCIA PARA METALES PESADOS (E2)**

$$\text{EFICIENCIA\%} = \frac{\text{MASA DE ENTRADA} - \text{MASA DE SALIDA}}{\text{MASA DE ENTRADA}} \times 100$$

$$\text{MASA DE ENTRADA} = Q \times C$$

$$\text{MASA DE ENTRADA} = 28.2$$

$$\text{MASA DE SALIDA} = Q \times C$$

$$\text{MASA DE SALIDA} = 17.424$$

$$E2 \% = 38.21$$

**EFICIENCIA DE LA ESTRUCTURA**

$$E\% = (E1 \% + E2\%) / 2 = 28.52$$

La estructura tiene una eficiencia del 28.52 %, necesitando un tratamiento adicional para PH y Zinc.

**Tabla N° 6**

COMPARACION DE RESULTADOS ESTRUCTURA LN-LL-14					
	MUESTRA P1	Límites máximos permisibles: Descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero – Metalúrgicas DS.010-2010-MINAM	MUESTRA M13	UNIDAD	EFICIENCIA
	RESULTADO INICIAL (RI)		RESULTADO FINAL (RF)		
<b>ANALISIS FISICO</b>					
PH	1.8	6-9	3.24	unidad de PH	E1 % = 34.29
<b>ANALISIS QUIMICO</b>					
HIERRO	0.62	1.6	0.49	mg/L Fe	
ZINC	2.83	1.2	2.61	mg /L Zn	E2 % = 18
PLOMO	0.05	0.16	0.03	mg /L Pb	
<b>EFICIENCIA DE LA ESTRUCTURA</b>					E% = 26.10

QI : CAUDAL INICIAL (l/s) =	7.3
QF : CAUDAL FINAL (l/s) =	6.7

**PROCESAMIENTO DE RESULTADOS**

**EFICIENCIA PARA PH (E1)**

RI	=	1.8
RF	=	3.24
RF-RI	=	1.44
EFICIENCIA AL 100% SI RF ≥	=	6
EFICIENCIA AL 100% -	=	4.2

POR REGLA DE TRES SIMPLE	
4.2	100
1.44	E1
E1 % =	34.29

**EFICIENCIA PARA METALES PESADOS (E2)**

$$EFICIENCIA\% = \frac{MASA\ DE\ ENTRADA - MASA\ DE\ SALIDA}{MASA\ DE\ ENTRADA} \times 100$$

$$MASA\ DE\ ENTRADA = Q \times C$$

$$MASA\ DE\ ENTRADA = 25.55$$

$$MASA\ DE\ SALIDA = Q \times C$$

$$MASA\ DE\ SALIDA = 20.971$$

$$E2\ \% = 17.92$$

**EFICIENCIA DE LA ESTRUCTURA**

$$E\% = (E1\ \% + E2\ \%)/2 = 26.10$$

La estructura tiene una eficiencia del 26.10 %, necesitando un tratamiento adicional para PH y Zinc

$$EFICIENCIA\ PROMEDIO\ ESTRUCTURA\ TIPO\ II\ \% = (EFIC.\ LN -LL-3 + EFIC.\ LN -LL-6 + EFIC.\ LN -LL-14)/3$$

$$EFICIENCIA\ PROMEDIO\ ESTRUCTURA\ TIPO\ II\ \% = (18.92 + 28.52 + 26.10)/3$$

$$EFICIENCIA\ PROMEDIO\ ESTRUCTURA\ TIPO\ II\ \% = 24.51$$

## ANEXO 2

### Costo de las Estructuras.

**Tabla N° 01: ESTRUCTURA CONSTRUIDA A TRAVES DE FILTRO.**

PRESUPUESTO ESTRUCTURA TIPO I					
Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
02.01	BOC-AT-LL-1				7,109.0
02.01.01	TAPON TIPO B (CIERRE CON MURO DE C° A° NO HERMETICO)	u	1.00	5,272.58	5,272.58
02.01.02	RELLENO CON MATERIAL DE DESMONTE	m3	34.92	49.07	1,713.52
02.01.03	REFINE Y NIVELACION MANUAL	m2	12.10	2.73	33.03
02.01.04	CUNETAS DE DRENAJE TIPO I	m	7.00	12.84	89.88

**Tabla N° 02: ANALISIS SUBPRESUPUESTO- MURO C°A°**

Partida	02.01.01	TAPON TIPO B (CIERRE CON MURO DE C° A° NO HERMETICO)					
Rendimiento	u/DIA	MO.	1.0000	EQ.	1.0000	Costo unitario directo por : u	5,272.58
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrif	Cantida	Precio S	Parcial S	
Subpartidas							
900305020103	CONCRETO f <sub>c</sub> =175 kg/cm <sup>2</sup> CON CEMENTO TIPO V	m3			0.8000	427.65	342.12
900305020104	CONCRETO f <sub>c</sub> =280 kg/cm <sup>2</sup> CON CEMENTO TIPO V	m3			3.2000	497.56	1,592.19
900305140203	ENCOFRADO Y DEENCOFRADO	m2			7.2000	24.06	173.23
900305140204	ENCOFRADO PERDIDO	m2			5.6000	47.47	265.83
900401021005	RELLENO CON GRAVA PARA DREN	m3			3.5000	89.60	313.60
900401021006	RELLENO CON ARENA GRUESA	m3			3.5200	70.26	247.32
900402322106	SUMINISTRO E INSTALACION DE CODO DE HDPE D=4"	u			7.0000	40.79	285.53
900402322107	SUMINISTRO E INSTALACION DE TUBERIA DE HDPE D=4"	m			12.0000	13.03	156.36
901103025102	ACERO DE REFUERZO f <sub>y</sub> =4200 kg/cm <sup>2</sup>	kg			100.0000	5.39	539.00
909701020205	EXCAVACION EN ROCA E =0.10m	m2			5.0000	59.62	298.10
909701020323	PERFORACION DE ROCA PARA ANCLAJE L=1m	u			10.0000	50.25	502.50
909801010303	ACERO PARA ANCLAJE	kg			120.0000	4.64	556.80
						5,272.58	

FUENTE: EXPEDIENTE TECNICO- PRESUPUESTO-REMEDIACION DE 55 PASIVOS AMBIENTALES MINEROS EL DORADO

**Tabla N°03: ESTRUCTURA CONSTRUIDA A TRAVES DE POSAS DE SEDIMENTACION**

<b>PRESUPUESTO ESTRUCTURA TIPO II</b>					
<b>Item</b>	<b>Descripción</b>	<b>Und.</b>	<b>Metrado</b>	<b>precio \$/.</b>	<b>Parcial \$/.</b>
2.16	<b>BOCAMINA BOC-LN-LL-6</b>				7,175.8
02.16.01	EXCAVACION EN BOCAMINA	m3	0.12	37.41	4.49
02.16.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO DE MURO SEDIMENTADOR	m2	6.02	24.07	144.90
02.16.03	MURO SEDIMENTADOR CON CONCRETO F'C=140 KG/CM2	m3	0.60	437.14	262.28
02.16.04	ENCOFRADO PERDIDO EN TAPON	m2	4.42	24.07	106.39
02.16.05	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO EN TAPON	m2	4.42	24.07	106.39
02.16.06	TAPON TIPO A CON CONCRETO F'C=210 KG/CM2	m3	2.66	489.96	1,303.29
02.16.07	CAMA CON MATERIAL FINO	m3	1.87	132.10	247.03
02.16.08	SUMINISTRO E INSTALACION DE TUBERIA HDPE D=4"	und	1.00	348.46	348.46
02.16.09	MAMPOSTERIA DE PROTECCION CON GRAVA	m3	6.97	101.34	706.34
02.16.10	RELLENO CON MATERIAL DE DESMONTE	m3	20.73	47.23	979.08
02.16.11	RELLENO CON TIERRA DE CULTIVO E=0.10 M.	m2	8.92	2.23	19.89
02.16.12	REVEGETACION Y HABITATS	m2	8.92	1.02	9.10
02.16.13	CUNETA DE DRENAJE	m	15.00	195.88	2,938.20

**FUENTE : EXPEDIENTE TECNICO- PRESUPUESTO-REMEDIACION DE 55 PASIVOS AMBIENTALES MINEROS DE LA TAHONA**

## ANEXO 3

### ***Diseño de experimentos: Conceptos preliminares.***

#### **Tipos de estudios.**

Existen dos tipos de estudios que generan datos, los estudios observacionales y los estudios experimentales.

Llamamos estudio observacional cuando sobre un proceso existente se observan (registra información) una o más variables aleatorias. La finalidad de estos estudios es explorar, describir y confirmar hipótesis.

¿Qué es un experimento?

“Prueba o serie de pruebas en las cuales se inducen cambios deliberados en las variables de entrada de un proceso o sistema de manera que sea posible observar e identificar las causas de los cambios en la respuesta de salida” (Montgomery 1991).

“Es una reproducción restringida de la realidad con el fin de observar los efectos de su manipulación planificada” (Casanoves y Di Rienzo, 1999).

La finalidad de estudios basados en experimentos es contrastar hipótesis, modelar y predecir.

La diferencia principal entre estos dos tipos de estudio es que en los observacionales existe una realidad que se observa y en los experimentales se manipula la realidad para observar su respuesta. En la práctica en muchas ocasiones se obtienen datos provenientes de combinaciones de ambos tipos de estudios. En estos casos el desafío es modelar correctamente los datos obtenidos.

#### **Unidad experimental**

Es la mínima porción del material experimental sobre el cual un tratamiento puede ser realizado. La unidad experimental (UE) puede ser una parcela de terreno, una maceta, un animal, el conjunto de alumnos de un curso, etc. Pueden ser unidades naturales como en el caso de una persona, un automóvil, una planta o unidades artificialmente delimitadas como en el caso de una parcela de terreno, una cantidad de agua, etc.

## **Unidad Observacional**

Es la porción de la unidad experimental que se mide u observa. En muchos estudios, la unidad experimental coincide con la unidad observacional, pero en otros, una unidad experimental puede representar un conjunto de unidades observacionales. Cuando en un estudio se registran dos o más variables, la unidad observacional puede ser distinta para cada una de ellas. Por ejemplo, si la unidad experimental es una parcela con plantas de trigo, se puede registrar la variable rendimiento sobre toda la parcela y la variable número de espigas por planta sobre algunas plantas de la parcela. Así, las unidades de observación son distintas para estas variables.

## **Factores**

Son todas las fuentes de variación reconocidas a priori por el investigador (no incluye el error experimental). Cada uno de los valores que asume un factor se denomina **nivel**. Por ejemplo, la temperatura de cocción del pan es un factor y las diferentes temperaturas evaluadas son los niveles. Los factores pueden ser de interés del investigador (cuando se desea hacer inferencia sobre ellos) o simplemente pueden ser reconocidos como una fuente de variación que de no contemplarse disminuyen la precisión de las comparaciones de interés (factores de bloqueo).

En cualquiera de estos casos, los efectos de los factores pueden ser de naturaleza **fija** o **aleatoria**. Por ejemplo, las temperaturas de cocción del pan se pueden fijar en 100, 110 y 120 grados o elegirse al azar temperaturas entre 100 y 120 grados. Los factores de efectos fijos se utilizan cuando todos los niveles del factor que son de interés se incluyen en el estudio. La extrapolación de las conclusiones estadísticas mas allá de los niveles especificados hacia otros niveles no tiene sustento estadístico. Los modelos lineales basados en variables predictoras categóricas fijas (factores fijos) se denominan modelos de efectos fijos. Cuando en el modelo se incluyen efectos aleatorios, es decir, se incluye en el experimento una muestra aleatoria de posibles niveles del factor, se denomina modelo de efectos aleatorios. Las inferencias generalmente se orientan hacia todos los posibles grupos o niveles del o los factores de efectos aleatorios. A pesar que la distinción entre factores de efectos fijos o aleatorios no afecta el procedimiento de ajuste del modelo de ANAVA ni el contraste de hipótesis, en el modelo a una vía de clasificación, las hipótesis que se contrastan son fundamentalmente diferentes. En el caso de efectos fijos se contrastan hipótesis sobre igualdad de medias de tratamiento. En el caso de efectos

aleatorios, se contrastan hipótesis sobre la varianza de los niveles del factor. Cuando se combinan efectos fijos y aleatorios se está en presencia de un modelo mixto. Una introducción a los modelos aleatorios y mixtos se verá más adelante. Por ahora solo se hará referencia a los modelos de efectos fijos.

Cuando se estudia un solo factor se dice que el experimento es *unifactorial* ya que los tratamientos consisten en aplicar distintos niveles de un mismo factor. Si en cambio un tratamiento consiste en la combinación de niveles de 2 o más factores, entonces se dice que el experimento es un experimento con estructura factorial de tratamientos.

### **Tipo de Factores**

Los factores estudiados pueden ser de naturaleza *cuantitativa* o *cualitativa*. Un ejemplo del primer caso es cuando se estudian dosis de fertilizantes en un cultivo. Un ejemplo de factor cualitativo es el cultivar o variedad agrícola donde sus niveles son los distintos cultivares evaluados.

### **Tratamientos**

Se denomina tratamientos al conjunto de poblaciones estudiadas y/o acciones realizadas sobre las unidades experimentales. Si el experimento es *unifactorial*, los tratamientos son los distintos niveles del factor. Si el experimento es *multifactorial* (más de un factor) los tratamientos surgen de la combinación de los niveles de los factores intervinientes. Por ejemplo, si se prueba el factor temperaturas con tres niveles, 100, 110 y 120 °C, los tratamientos son las tres temperaturas. Si en esta experiencia además se evalúa el factor tipo de horno con tres niveles, eléctrico (E), a gas (G) y a leña (L), se tendrá un total de 9 tratamientos que surgen de la combinación de los niveles de los dos factores, temperatura y tipo de horno. Los tratamientos entonces serán: E-100, E-110, E-120, G-100, G-110, G-120, L-100, L-110 y L-120.

### **Repetición**

Se denomina *repetición* a cada una de las realizaciones *independientes* de un tratamiento.

Se denomina *corrida* a la realización de una repetición de todos los tratamientos. Otras veces se usa el termino *replica* para referirse a una repetición de todo el experimento.

### **Pseudo-repetición**

Se denomina *Pseudo-repetición* a cada una de las realizaciones *no independientes* de un tratamiento. En algunas áreas se denominan *submuestras*.

### **Confundimiento**

Se dice que hay *confundimiento* cuando la comparación entre los niveles de un factor puede representar también la comparación entre los niveles de otro factor. Así será imposible conocer cuál es el factor que podría estar causando las diferencias observadas. Por ejemplo, si se desea probar el efecto de dos dietas A y B y se asigna la dieta A a un conjunto de varones tomados al azar y la dieta B a un conjunto de mujeres tomadas al azar. Si al cabo de un tiempo se observa la diferencia de peso respecto al peso inicial, no se podrá determinar si las diferencias se deben al efecto del factor dieta o al efecto del factor sexo. En tal caso se dice que los efectos de dieta y sexo están confundidos. El confundimiento se podría evitar con la simple aleatorización de las dietas en las unidades experimentales (individuos sin distinción de sexos) o la aleatorización de las dietas dentro de cada uno de los sexos (recomendable si se espera que el sexo tenga efecto sobre la diferencia de peso).

Cuando se realiza un ANAVA (o test T) con pseudo-repeticiones únicamente, los efectos de los tratamientos pueden estar confundidos con variaciones en las unidades experimentales que, al no estar repetidas, no pueden distinguirse. Por ejemplo, si se estudia la cantidad de especies vegetales de dos áreas contiguas, una que fue hace años arrasada por el fuego y otra que no, se pueden obtener pseudo-repeticiones de los tratamientos (fuego y no fuego). Si se hace una prueba con estos datos no se podrá saber si las diferencias se deben al efecto del fuego o a que las áreas contiguas tenían diferencias entre si más allá del fuego.

### **Control y testigo**

Usualmente se denomina *control* al nivel del factor tratamiento que representa ausencia de "tratamiento". Es común ver en experimentos UE a las que no se le aplican los tratamientos de interés. El objetivo es comparar los efectos de

tratamientos descontando variaciones debidas a la manipulación experimental. Por ejemplo, en un estudio involucrando varias dosis de fertilizantes el rendimiento observado bajo los distintos tratamientos podría deberse a la dosis de fertilizante pero también a las condiciones experimentales que no son en las que habitualmente se observa el rendimiento (siembra a mano, riego con regadera, etc.). Luego si no se incorpora un control (sin fertilizar) será difícil discernir cuánto de lo observado se debe a la fertilización.

Se denomina *testigo* al tratamiento tradicional que se desea comparar con nuevos tratamientos. Por ejemplo, para evaluar tres nuevas variedades de trigo en cuanto a su rendimiento, se podría incluir la variedad tradicional como testigo, de manera de poder comparar los rendimientos de las nuevas versus el testigo bajo las mismas condiciones experimentales.

### **Aleatorización**

En diseño y análisis de experimentos hay dos etapas importantes de aleatorización. La primera se relaciona con la necesidad de contar con unidades experimentales que representen una muestra aleatoria de la población de UE. La segunda aleatorización es la que se realiza para asignar los distintos tratamientos en las UE o *viceversa*. Esta es una condición necesaria para que la estimación de los parámetros de interés sea insesgada.

### **Error experimental**

Este error está compuesto por los errores de tratamiento, de muestreo y de medición y aunque en la práctica generalmente son indistinguibles, es importante reconocerlos para tratar de minimizarlos. En el ANAVA, el error experimental es un estimador de  $\sigma^2$  y por lo tanto mantener en niveles bajo los errores que lo componen harán más eficientes las comparaciones de interés.

**Error de Tratamiento:** Es el error que se podría cometer al no poder aplicar el mismo tratamiento de manera exactamente igual en las unidades experimentales (UE) que le fueron asignadas.

**Error de Medición:** Error relacionado a la obtención del dato. Podría ser introducido por parte del operario que obtiene el dato o por el instrumento de medición.

**Error de Muestreo:** Está relacionado con la variación de las UE que es de esperar exista aún cuando toda otra fuente de variación se encuentre controlada. Su magnitud depende de la heterogeneidad de las UE.

El error de tratamiento se controla con un buen protocolo de aplicación de los tratamientos, el error de medición, con la capacitación del personal y la elección de buenos aparatos de medida. El error de muestreo, se controla mediante un proceso de aleatorización que contemple la estructura de las unidades experimentales, es decir asegurarse que todos los tratamientos estén representados en todos los grupos o bloques de unidades experimentales.

### ***Diseño de experimentos***

El diseño de experimentos consiste en un conjunto de técnicas que tienen, entre otras, la finalidad de controlar las fuentes de variación no deseadas y disminuir el término de error experimental.

Uno de los principales objetivos en la planificación de una experiencia, siguiendo un diseño experimental, es la reducción del error experimental, con el propósito de incrementar la eficiencia de la inferencia relacionada a la comparación de tratamientos.

El diseño experimental puede entenderse como una estrategia de combinación de la estructura de tratamientos (factor/es de interés) con la estructura de unidades experimentales, de manera tal que la variabilidad de la variable respuesta, al menos en algún subgrupo de unidades experimentales, pueda ser atribuidas solamente a la acción de los tratamientos, excepto por errores aleatorios. Así, es posible contrastar (comparar) medias de tratamientos o combinaciones lineales de medias de tratamientos con el menor "ruido" posible.

La estructura de tratamientos esta relacionada al número de factores involucrados en el experimento, sus niveles y la combinación de los mismos. La estructura de unidades experimentales surge del agrupamiento de las mismas en grupos o bloques que puedan considerarse formados por UE homogéneas. Es importante en toda situación donde se diseña una experiencia distinguir entre la estructura de parcelas o estructura de las UE por un lado, y la estructura de tratamientos, por el otro.

La estructura de parcelas es generalmente determinada *a priori* de la aplicación de los tratamientos a las UE, tratando que ésta contemple todos los factores que

producen variación en la respuesta entre las distintas unidades experimentales. En la mayoría de las experiencias, es posible identificar patrones en las UE, los que se asocian a factores, que si bien no corresponden a los tratamientos de interés, podrían diferenciar las respuestas provenientes de las distintas UE. Una estrategia para controlar el efecto de dichos factores es la estratificación o bloqueo.

La estructura de tratamientos esta asociada a las cuestiones sobre las que interesa inferir. La **aleatorización** es el proceso que permite combinar ambas estructuras. La estructura de tratamientos es aleatorizada en las unidades experimentales.

Así, un diseño experimental involucra:

- a) la elección de la estructura de tratamientos.
- b) la detección de la estructura de parcelas (independientemente de la estructura de tratamientos).
- c) la elección del método de aleatorización acorde para la combinación de ambas estructuras.

El diseño experimental determina el modelo a utilizar para un correcto análisis de la variabilidad en la respuesta.

Algunas estructuras de parcelas clásicas son aquellas que caracterizan los diseños: 1) completamente aleatorizados (DCA), donde las UE no tienen estructura; 2) en bloques completos aleatorizados (DBCA), donde las UE homogéneas se agrupan en un mismo bloque y los bloques son heterogéneos en relación a un factor de clasificación (o combinación de factores de clasificación); 3) cuadrado latino (DCL), donde las UE se agrupan en bloques heterogéneos en relación a dos factores de clasificación independientes (estructura de UE a dos vía de clasificación).

No debe existir interacción entre los componentes de la estructura de parcelas y los componentes de la estructura de tratamientos, es decir, se asume que la relación existente entre tratamientos es consistente de bloque a bloque (excepto por la variación aleatoria).

**Preguntas que pueden hacerse para realizar, identificar y analizar un experimento comparativo**

✓ *¿Cuántos tratamientos se desean comparar?*

- ✓ *¿Cuántas repeticiones por tratamiento son suficientes para comparar con la precisión deseada?*
- ✓ *¿Es necesario observar la evolución de la respuesta en el tiempo?*
- ✓ *¿Cuáles son las unidades experimentales?*
- ✓ *¿Cuáles son las unidades de observación?*
- ✓ *¿Son las unidades experimentales homogéneas?*
- ✓ *¿Son las unidades experimentales homogéneas suficientes para realizar todos los tratamientos?*
- ✓ *¿Cómo se asignan los tratamientos a las unidades experimentales?*
- ✓ *¿Los tratamientos tienen alguna estructura?*
- ✓ *¿Puede el diseño resultante ser analizado estadísticamente y las comparaciones deseadas llevadas a cabo?.*

## **Análisis de la varianza (ANAVA)**

### **Introducción**

En experimentos con fines comparativos, usualmente se realiza la aplicación de varios tratamientos a un conjunto de unidades experimentales para valorar y comparar las respuestas obtenidas bajo cada tratamiento. La técnica del Análisis de Varianza (ANAVA) permite realizar las estimaciones de las respuestas promedio de tratamientos y las comparaciones entre ellas. El ANAVA es un procedimiento que descompone la variabilidad total en la muestra (suma de cuadrados total de las observaciones) en componentes (sumas de cuadrados) asociados cada uno a una fuente de variación reconocidas.

El ANAVA es una técnica general en la que participa y se analiza la variación en una variable respuesta continua. La variación es particionada en variación explicada y no explicada por uno o más predictores llamados factores. Las categorías de cada factor (niveles) generalmente conforman grupos o condiciones experimentales (tratamientos). El objetivo es la comparación de las medias de la variable respuesta en esos grupos. El ANAVA examina la contribución relativa de diferentes fuentes de variación respecto a la variación total en la variable respuesta y permite contrastar la

$H_0$  sobre igualdad de medias entre los grupos versus la  $H_1$  que establece que al menos 1 es diferente.

Las variables involucradas en el ANAVA son la *variable dependiente o respuesta*, las *variables de clasificación* (predictoras asociadas a factores cualitativos o cuantitativos con un número discreto de niveles) y las *covariables* (predictoras asociadas a fuentes de variación continuas entre UE) en caso de que existan.

La variable dependiente es la variable sobre la cual se desea hacer comparaciones entre los tratamientos. Las variables de clasificación son las que representan factores o fuentes de variación que permiten separar o clasificar las observaciones en grupos. Normalmente existen factores que tienen que ver con la *estructura de tratamientos* del experimento y factores relacionados a la *estructura de las unidades experimentales*.

Las covariables (o variables concomitantes) representan variables aleatorias continuas cuyo valor varía con cada unidad experimental y que posiblemente están relacionadas linealmente con la variable respuesta. Las covariables no deben interactuar con los factores que se evalúan en el experimento. En situaciones donde se registró una variable concomitante, se puede realizar el *análisis de covarianza*. En este análisis antes de estudiar las diferencias entre tratamientos, se ajusta o remueve en la variable dependiente la variabilidad debida a la covariable. Más adelante se desarrollará el tema análisis de covarianza.

### ***Modelo de ANAVA de efectos fijos a un criterio de clasificación***

La técnica de análisis de la varianza presupone un **modelo lineal** para explicar la variación en la variable respuesta. Cuando se estudia un solo factor con  $a$  niveles (o  $a$  tratamientos) se dice que el análisis de varianza es a *un criterio de clasificación* y el modelo (modelo de efectos) queda definido de la siguiente forma:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}, \quad \text{con } i=1, \dots, a \text{ y } j=1, \dots, n_i$$

donde:

$Y_{ij}$  es la  $j$ -ésima respuesta en el  $i$ -ésimo tratamiento

$\mu$  es la media poblacional de la variable respuesta

$\tau_i$  es el efecto del  $i$ -ésimo tratamiento

$\varepsilon_{ij}$  es un término de error aleatorio. Bajo los supuestos del modelos de muestreo ideal, los términos de error asociados a cada una de las observaciones se suponen independientemente distribuidos, normales, con esperanza 0 y varianza  $\sigma^2 \forall i,j$  (Varianza constante).

La media general ( $\mu$ ) pueda ser entendida como la media de todas las medias poblacionales asociadas a cada uno de los grupos en estudio. Se considera un parámetro fijo y su valor es constante a través de todas las observaciones, por lo que suele denominarse simplemente constante. Los efectos de tratamientos ( $\tau_i$ ) representan la diferencia o corrimiento entre la media poblacional del grupo considerado y la media general. En el modelo de ANAVA de efectos fijos los ( $\tau_i$ ) se consideran constantes (valores fijos) desconocidas. El efecto del tratamiento 1 ( $\tau_1$ ) es la diferencia que hay entre la media del tratamiento 1 y la media general. La hipótesis nula del ANAVA postula la igualdad de medias de todos los tratamientos comparados. Si la hipótesis nula del ANAVA fuera verdadera las  $a$  poblaciones estarían centradas sobre la misma esperanza, es decir, en  $\mu$ . El término de error asociado a la observación  $ij$ , representa la diferencia entre dicha observación y la media poblacional del grupo o tratamiento correspondiente.

El modelo de ANAVA también puede plantearse en términos de la media de *celda* o media de grupo (*modelo de celdas* o *modelo de medias*) en lugar de hacerlo sobre la base de efectos de grupos. Es decir,

$$Y_{ij} = \mu_i + \varepsilon_{ij}, \quad \text{con } i=1, \dots, a \text{ y } j=1, \dots, n_i$$

El número de parámetros de posición en esta parametrización es igual al número de medias de grupo. Para el caso de estudios involucrando un solo factor con igual tamaño de muestra para cada nivel no existen diferencias entre este modelo y el de efectos a la hora del contraste de hipótesis. El modelo de celdas puede ser ventajoso en algunas situaciones con diseños complejos o multifactoriales donde se ha perdido una celda.

Si bien los  $\tau_i$  del modelo de efectos no son estimables, los  $\mu_i = \mu + \tau_i$  si se pueden estimar para cada grupo. Debido a la equivalencia entre el modelo de celdas y el modelo de efectos, resulta indistinto plantear la hipótesis nula del ANAVA en términos de media de celda o efectos de tratamiento.

Las hipótesis que se contrastan en el ANAVA de efectos fijos pueden expresarse como:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_a \quad \text{versus}$$

$H_1$ : Al menos un par de medias difiere

o alternativamente como:

$H_0: \tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_a = 0$  versus

$H_1: \text{Al menos un } \tau_i \neq 0$

### **Estimación**

En el marco del modelo de efectos, los parámetros a estimar serán, la media general, los efectos de tratamientos y la varianza de los términos de error, la cual se asumió constante a través de los niveles de los factores. La estimación de estos parámetros usualmente se realiza mediante los procedimientos de estimación de mínimos cuadrados (MC) o máxima verosimilitud (MV). El modelo de muestreo ideal (MMI) es aquel modelo que cumple con los supuestos de independencia, homocedasticidad y distribución normal para los términos de error. Bajo los supuestos del MMI las estimaciones de los parámetros de posición obtenidas por uno u otro procedimiento son las mismas, mientras que la estimación de la componente de varianza residual difiere. El estimador MV de  $\sigma^2$  es sesgado mientras que el estimador por MC es insesgado, pero la eficiencia del estimador MV puede ser mayor sobre todo si el tamaño de muestra es grande.

En experimentos con pocas repeticiones por tratamiento y bajo el MMI, usualmente se utiliza el procedimiento de mínimos cuadrados ordinarios, el que provee de los siguientes estimadores para los parámetros del modelo de efectos:

$$\hat{\mu} = \bar{Y}$$

$$\hat{Y} = \bar{Y} + (\bar{Y}_i - \bar{Y}) = \bar{Y}_i$$

El error estándar para una media de tratamientos, que permite construir intervalos de confianza para las medias poblacionales bajo cada tratamiento y/o comparar medias de tratamiento es:

$$\hat{\sigma}_{\bar{Y}_i}^2 = \sqrt{\frac{CMR}{n_i}}$$

Donde CMR es el cuadrado medio residual del ANAVA también conocido como cuadrado medio dentro (CMD), ya que es un estimador de la variabilidad entre las UE tratadas de la misma forma, es decir, *dentro* de un mismo tratamiento.

Los términos de error son estimados por los residuos  $e_{ij}$  como la diferencia entre el valor observado y el valor predicho por el modelo ( $\hat{Y}_{ij} = \bar{Y}_i$ ):

$$\hat{e}_{ij} = e_{ij} = Y_{ij} - \bar{Y}_i$$

**Tabla de análisis de varianza para un modelo a una vía de clasificación**

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	F
Entre Tratamientos	$SCE = \sum_{i=1}^a \frac{1}{n_i} (\sum_{j=1}^{n_i} Y_{ij})^2 - \frac{1}{N} \left( \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^{n_i} Y_{ij} \right)^2$	$gle = a - 1$	$CME = \frac{SCE}{gle}$	$\frac{CME}{CMD}$
Dentro (Error Experimental)	$SCD = SCT - SCE$	$gld = N - a$	$CMD = \frac{SCD}{gld}$	
Total	$SCT = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^{n_i} Y_{ij}^2 - \frac{1}{N} \left( \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^{n_i} Y_{ij} \right)^2$	$glt = N - 1$		

Una forma de calcular el cuadrado medio dentro es a partir de las varianzas muestrales obtenidas para cada tratamiento:

$$CMD = \frac{(n_1 - 1)\hat{\sigma}_1^2 + \dots + (n_a - 1)\hat{\sigma}_a^2}{(n_1 - 1) + \dots + (n_a - 1)}$$

El Cuadrado Medio Dentro es un estimador insesgado de  $\sigma^2$ , es decir  $E(CMD) = \sigma^2$ .

El cuadrado medio entre (CME) se asocia a la variabilidad entre las medias de tratamientos. En el caso de tamaños muestrales iguales para cada tratamiento se puede obtener de la siguiente forma:

$$CME = \hat{\sigma}_{\bar{Y}}^2 \cdot n.$$

A diferencia del CMD que es un estimador incondicional de  $\sigma^2$ , el CME estima a  $\sigma^2$  sólo si las esperanzas de los tratamientos que se comparan son iguales ( $H_0$  verdadera) de lo contrario estima a  $\sigma^2 + c \sum_{i=1}^a \tau_i^2$ , con  $c$  una constante mayor que 0.

Luego, CME es un estimador insesgado de  $\sigma^2$  sólo si  $H_0$  es verdadera, de lo contrario estima a  $\sigma^2$  más una cantidad que representa una medida de la magnitud de los efectos de tratamiento.

Si  $H_0$  es verdadera, todo  $\tau_i=0$  y por lo tanto la componente añadida por los efectos de tratamiento se anula y la esperanza del CME es  $\sigma^2$ . Luego el CMD y el CME son ambos estimadores independientes de  $\sigma^2$  bajo  $H_0$ .

Sean  $\sigma_E^2$  y  $\sigma_D^2$  las varianzas estimadas por el CME y el CMD respectivamente, luego bajo la hipótesis de igualdad de medias de tratamiento,  $\sigma_E^2 = \sigma_D^2$  de lo contrario  $\sigma_E^2 > \sigma_D^2$ . El ANAVA se basa en dos estimadores independientes de la varianza de las observaciones: uno basado en la variabilidad dentro de los tratamientos y otro basado en la variabilidad entre los tratamientos. Si no hay diferencias entre las medias de los tratamientos, estos dos estimadores estiman al mismo parámetro, de lo contrario el segundo tiende a ser mayor cuanto mayor es la diferencia entre los tratamientos. Luego, a pesar de que la hipótesis de interés del ANAVA se refiera a la igualdad de las esperanzas de dos o más distribuciones, la técnica del ANAVA se basa en la comparación de varianzas para inferir acerca de la igualdad de las esperanzas. Por lo tanto otra forma de plantear la hipótesis en ANAVA es la siguiente:

$$H_0: \sigma_E^2 = \sigma_D^2 \quad \text{vs.} \quad H_1: \sigma_E^2 > \sigma_D^2$$

El contraste de hipótesis consiste en calcular el estadístico F utilizando los estimadores de  $\sigma_E^2$  y  $\sigma_D^2$ , de la siguiente forma:

$$F = \frac{CME}{CMD}$$

Este estadístico tiene, bajo  $H_0$ , una distribución  $F(a-1, (N-a))$  con  $N = \sum_{i=1}^a n_i$ . Luego, para un nivel de significación  $\alpha$ , si el valor observado de F es mayor que el cuantil  $(1-\alpha)$  de la distribución  $F(a-1, (N-a))$  se rechaza  $H_0$ , implicando que  $H_1$  es verdadera. El

rechazo de  $H_0$  implica que  $\sum_{i=1}^a \tau_i^2$  es distinto de 0 y por lo tanto, que algún  $\tau_i \neq 0$ ; luego se concluye que no todas las medias de tratamiento son iguales o que al menos un tratamiento tiene efecto distinto de 0.

En este diseño se supone que las unidades experimentales son homogéneas, es decir no se identifica estructura alguna. Los tratamientos (que pueden o no tener estructura) se asignan completamente al azar a las unidades experimentales. El número de repeticiones puede variar de un tratamiento a otro. Aquellos con igual

número de repeticiones se denominan balanceados; para algunas técnicas de estimación asociadas, el balance es una característica deseada.

**Ejemplo: Diseño completamente aleatorizado a una vía de clasificación**

Una panadería desea probar 4 temperaturas de horneado de pan (100, 130, 160 y 190 °C) con el fin de verificar si existen diferencias en el volumen del pan obtenido. Para hacer la prueba se amasó el pan y se formaron 16 bollos. Cada uno de los bollos fue asignado al azar a una de las temperaturas. Luego se aleatorizó el orden de las temperaturas del horno y después del horneado se midió el volumen del pan obtenido (cm<sup>3</sup>). Los datos están en el archivo pan.idb.

Se realizó un ANAVA a una vía de clasificación y se obtuvo la siguiente tabla:

**Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
vol	16	0.59	0.48	2.52

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC Tipo III)**

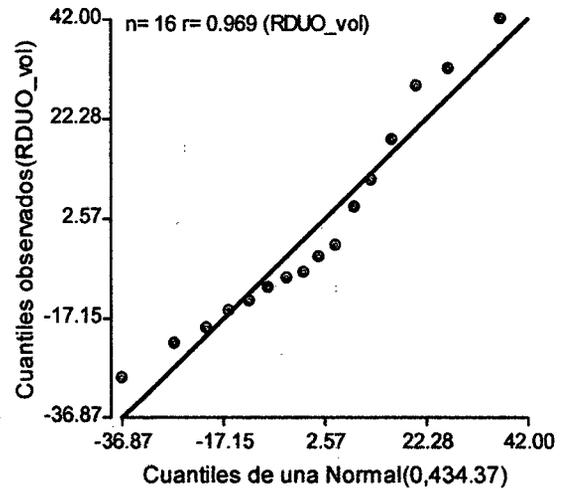
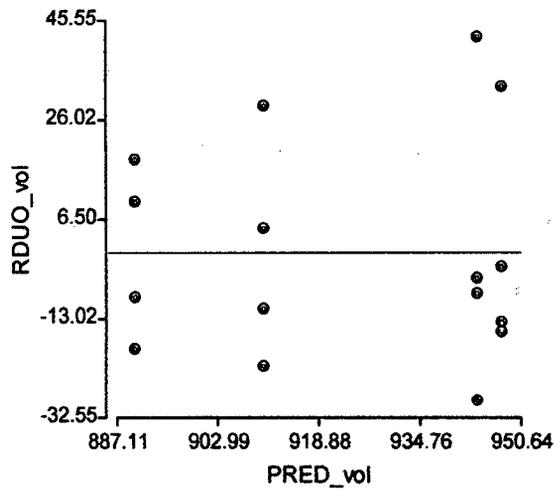
F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Modelo	9220.50	3	3073.50	5.66	0.0119
Temperatura	9220.50	3	3073.50	5.66	0.0119
Error	6515.50	12	542.96		
Total	15736.00	15			

El valor  $p=0.0119$  para el efecto de tratamientos (temperaturas) sugiere el rechazo de la hipótesis nula de igualdad de medias de tratamientos.

**Análisis de los supuestos del MMI**

Para el análisis de los supuestos del modelo de muestreo ideal, se utilizan las mismas técnicas gráficas y de pruebas de hipótesis que se desarrollaron en regresión lineal.

A continuación se muestra el diagrama de dispersión de residuos versus predichos, el gráfico qq-plot para de residuos, la prueba de homogeneidad de varianzas de Levene y la prueba de Shapiro-Wilks para el supuesto distribucional para los datos del archivo pan.idb.



**Análisis de la varianza Prueba de Levene**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
RABS vol	16	0.05	0.00	72.28

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC Tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Modelo	103.30	3	34.43	0.23	0.8745
Temperatura	103.30	3	34.43	0.23	0.8745
Error	1805.19	12	150.43		
Total	1908.48	15			

**Shapiro-Wilks (modificado)**

Variable	n	Media	D.E.	W*	p (una cola)
RDUO vol	16	0.00	20.84	0.91	0.2452

No hay evidencias para rechazar el supuesto de homogeneidad de varianzas (Prueba de Levene,  $p=0.8745$ ) ni el de distribución normal de los errores (Prueba de Shapiro-Wilks,  $p=0.2425$ ).

Como los supuestos del MMI pueden ser sostenidos, y se rechazó la hipótesis nula de igualdad de medias de tratamientos, por lo que se concluye que al menos una temperatura de horneado produce un volumen promedio diferente. Para identificar cuál o cuales tratamientos se asocian a valores medios diferentes se puede recurrir a técnicas de comparaciones múltiples (donde se contrastan todos los pares de medias) o a la estimación de contrastes entre medias específicamente determinados por el usuario en función del conocimiento del problema y el objetivo de la investigación.

### **Comparaciones múltiples**

Usualmente, cuando la hipótesis nula del ANAVA es rechazada se implementa una prueba para comparar las medias.

Para analizar las diferencias de “a pares”, entre las medias de las distribuciones que se comparan, existe una gran variedad de pruebas a posteriori o comparaciones múltiples entre las que se pueden mencionar procedimientos tradicionales y procedimientos jerárquicos (basados en algoritmos de agrupamiento jerárquico). Con un número alto de medias de tratamiento, los procedimientos tradicionales pueden producir resultados de difícil interpretación ya que una misma media puede pertenecer a más de uno de los grupo de medias que resultan en la comparación (falta de transitividad). Por el contrario, los métodos jerárquicos producen agrupamientos mutuamente excluyentes (partición del conjunto de medias de tratamientos).

Entre los procedimientos tradicionales se encuentran, entre otras, las siguientes pruebas: LSD de Fisher, Bonferroni, Tukey, Duncan y Student-Newman-Keuls (S.N.K).

Entre los procedimientos jerárquicos se pueden mencionar: Di Rienzo, Guzmán y Casanoves (D.G.C.), (Di Rienzo, et al., 2002); Jolliffe (Jolliffe, 1975), Scott y Knott (Scott y Knott (1974)) y la prueba BSS (Bautista et al. (1997)), entre otras.

La elección del método de comparaciones múltiples depende del objetivo de la investigación y de que tasa de error (Tipo I o Tipo II) se desee controlar. Las pruebas de hipótesis tienen riesgos asociados al rechazo y al no rechazo de la hipótesis (contraste) de interés. El error tipo I considera el riesgo de rechazar una hipótesis nula verdadera y su probabilidad  $\alpha$  esta determinada por el investigador. El error tipo II es el riesgo de no rechazar una hipótesis falsa, es decir, en el contexto de las comparaciones múltiples de a pares, declarar iguales dos medias que en realidad no

lo son. La tasa de error tipo II, para un nivel de significación  $\alpha$  dado, esta determinada por el tamaño muestral, la varianza y la magnitud de las diferencias entre las medias poblacionales involucradas. Los riesgos de cometer error de tipo I y de tipo II tienen una relación inversa; manteniendo constante las características mencionadas arriba en relación al error de tipo II, si disminuye  $\alpha$ , aumenta el error de tipo II.

La importancia relativa de uno u otro error depende del contexto en el cual se realiza el contraste de hipótesis. Por ejemplo, si un laboratorio esta en las primeras etapas de investigación de diversas drogas para el control de una enfermedad, el riesgo mayor podría ser descartar una droga que en realidad produce el efecto deseado. En cambio, si se esta por recomendar una droga para un paciente, el riesgo mayor es recomendar una que no sea efectiva. En el primer caso se debe elegir una prueba que controle el error de tipo I mientras que para el segundo una que controle el error tipo II.

Para los datos del ejemplo de la panadería, se realizó la prueba de Tukey para comparar las medias de las temperaturas estudiadas obteniéndose los siguientes resultados:

**Test : Tukey Alfa: 0.05 DMS: 48.92143**

Error: 542.9583 gl: 12

Temperatura	Medias	n		
100	890.00	4	A	
190	910.25	4	A	B
160	944.00	4		B
130	947.75	4		B

*Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ )*

Los mayores volúmenes de pan se obtienen con las temperaturas de 190, 160 y 130 °C. Estas temperaturas no difirieren entre si, por lo que se recomienda la temperatura de 130 °C ya que es la más económica de lograr. Se puede ver claramente la falta de transitividad del método de Tukey, ya que la temperatura 100 no difiere de 190, la temperatura 190 no difiere de 160, pero la temperatura 100 difiere de 160. Usando un método LSD se obtienen los siguientes resultados:

**Test: LSD Fisher Alfa: 0.05 DMS: 35.89948**

Error: 542.9583 gl: 12

Temperatura	Medias	n			
100	890.00	4	A		
190	910.25	4	A	B	
160	944.00	4		B	C
130	947.75	4			C

*Letras distintas indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ )*

Esta prueba indica que el mayor volumen de pan se logra con las temperaturas 160 o 130. No obstante se sigue recomendando la temperatura 130 por cuestiones económicas. Se puede observar que la prueba LSD encuentra más diferencias que la prueba de Tukey.

Además de la clasificación por su carácter transitivo o no, los métodos de comparaciones múltiples pueden clasificarse por su objetivo, por el tipo de tasa de error que controlan, y por si la mínima diferencia significativa que se obtiene con ellos es constante o variable entre otros criterios.

Respecto a la clasificación por el objetivo de la comparación pueden separarse en: 1) todas las comparaciones posibles de a pares (Ej.: Tukey, Duncan, LSD, DGC, Jollife), 2) todas las comparaciones contra un testigo (Ej.: Dunnett), 3) todas contra la media mayor o todas contra la media menor (Ej.: HSU).

Respecto al tipo de tasa de error que controlan ésta puede ser por experimento o por comparación. La tasa de error por experimento se calcula como el número de experimentos en que se comete un error sobre el número total de experimentos (se suponen repeticiones independientes del mismo experimento). La tasa de error por comparación se calcula como el número de comparaciones donde se comete un error sobre el número total de comparaciones de un experimento. En general las tasas de error por experimento son mayores que las tasas de error por comparación.

Algunos procedimientos de comparaciones múltiples como son Bonferroni y Scheffé, permiten realizar contrastes generales e intervalos de confianza simultáneos. Esta generalidad trae como consecuencia una pérdida de potencia.

La prueba de Tukey requiere medias no correlacionadas y si bien fue pensada para igual número de repeticiones por tratamiento puede usarse una corrección en caso de desbalance (Tukey-Kramer). Controla el error tipo I por experimentación, razón por la cual es una prueba conservadora (poco potente).

La prueba de rango múltiple de Duncan y la de SNK también requieren de medias no correlacionadas e igual número de repeticiones por tratamiento. Son más potentes que Tukey pero menos que LSD.

La prueba LSD no requiere igual número de repeticiones, está entre las más potentes y controla la tasa de error tipo I por comparación.

Dentro de los procedimientos que tienen diferencia mínima significativa constante se encuentran el método de Tukey, el LSD, el DGC y dentro de los que poseen diferencia mínima significativa variable están el SNK, Duncan y el REGW, entre otros.

### **Contrastes**

Si bien el uso de las comparaciones múltiples realizadas en el ejemplo del volumen de pan es apropiado, numerosos autores recomiendan en caso como este, donde se cuenta con niveles equidistantes de un factor cuantitativo, realizar contrastes polinómicos ortogonales para identificar si existe alguna tendencia particular en las medias de la variable respuesta respecto a los niveles del factor. Con  $a$  niveles del factor tratamiento a analizar, es posible postular  $a-1$  polinomios ortogonales de orden  $1, \dots, a-1$ . Coeficientes para polinomios ortogonales para varios números de tratamientos pueden ser encontrados en cualquier texto de diseño de experimentos. Un contraste es definido como una combinación lineal de los parámetros del modelo. En el análisis de varianza los contrastes generalmente toman la forma  $c_1M_1 + c_2M_2 + \dots + c_aM_a$  (donde  $M_i$  es la  $i$ -ésima media poblacional y los coeficientes  $c_i$  son constantes conocidas, al menos dos distintos de cero, y su suma es cero).

Si se desea plantear más de un contraste, para que las comparaciones sean independientes unas de otras, los contrastes deberán ser ortogonales. Dos contrastes son ortogonales si la suma de los productos de los coeficientes de ambos contrastes es cero. O sea, para  $C_1 = c_1M_1 + c_2M_2 + \dots + c_aM_a$  y  $C_2 = b_1M_1 + b_2M_2 + \dots + b_aM_a$ ,  $C_1$  y  $C_2$  son ortogonales si  $c_1b_1 + c_2b_2 + \dots + c_ab_a = 0$ . Tres o más contrastes son ortogonales si todos los pares de contrastes definidos entre ellos son ortogonales.

El número máximo de contrastes ortogonales a realizar es igual al número de tratamientos menos 1 (a-1).

La sumas de cuadrados asociadas a un conjunto de contrastes ortogonales representan una partición de la suma de cuadrados de tratamientos. Si se realizan a-1 contrastes ortogonales y se cuenta con igual número de repeticiones por tratamiento, la suma de cuadrados de cada uno de los contrastes suma la suma de cuadrados de tratamientos.

En el ejemplo de la panadería, al tener 4 temperaturas, se pueden realizar 3 contrastes polinómicos ortogonales cuyos coeficientes podrían ser:

Tendencia lineal: -3 -1 1 3

Tendencia cuadrática: 1 -1 -1 1

Tendencia cúbica: -1 3 -3 1

Con estos contrastes se obtienen los siguientes resultados:

#### Contrastes

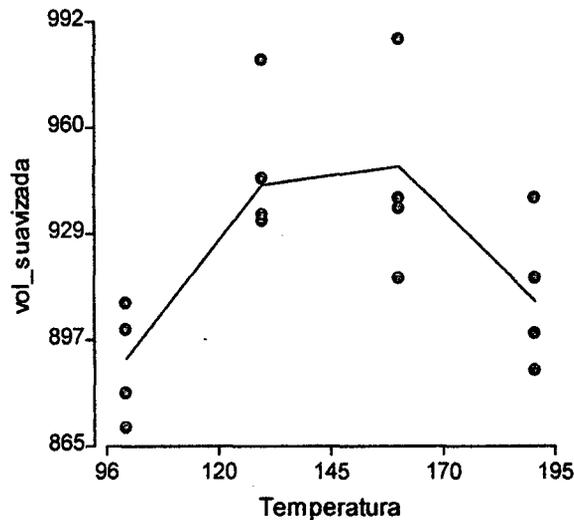
Temperatura	SC	gl	CM	F	Valor p
Contraste1	649.80	1	649.80	1.20	0.2954
Contraste2	8372.25	1	8372.25	15.42	0.0020
Contraste3	198.45	1	198.45	0.37	0.5567
Total	9220.50	3	3073.50	5.66	0.0119

#### Coefficientes de los contrastes

Temperatura	Cont. 1	Cont. 2	Cont. 3
100	-3.00	1.00	-1.00
130	-1.00	-1.00	3.00
160	1.00	-1.00	-3.00
190	3.00	1.00	1.00

La tendencia lineal (contraste 1) es no significativa ( $p=0.2954$ ) al igual que la tendencia cúbica (contraste 3,  $p=0.5567$ ). La tendencia cuadrática resultó significativa ( $p=0.0020$ ).

Estos hallazgos pueden visualizarse en el siguiente gráfico:



Como cada tratamiento tenía el mismo número de repeticiones, la suma de la suma de cuadrados de los contrastes es igual a la suma de cuadrados de tratamiento (partición ortogonal).

Además de usarse para verificar tendencia (contrastos polinómicos), los contrastes permiten también hacer otro tipo de comparaciones entre medias, planificadas en función de la estructura de los tratamientos y/o los objetivos del estudio. Estos contrastes podrían realizarse aún antes de obtener los datos ya que no dependen de los resultados particularmente obtenidos en la realización del experimento; por ello muchos autores los denominan contrastes a priori. Por ejemplo, si de tres tratamientos que se están ensayando el tratamiento 1 corresponde a un testigo y los otros dos tratamientos representan 2 nuevas acciones que se están experimentando, podría ser de interés postular a priori el siguiente par de contrastes sobre las tres medias  $M_1$ ,  $M_2$  y  $M_3$ : el contraste  $0 \ 1 \ -1$  comparará la  $M_2$  con la  $M_3$  (las dos acciones experimentales entre si) y el contraste  $2 \ -1 \ -1$  es equivalente a comparar  $M_1$  con la media de  $M_2$  y  $M_3$  (el promedio de las acciones experimentales versus el testigo).

Por último, si bien los contraste ortogonales proveen información independiente, en algunos casos resultan de interés contrastes o comparaciones que no son ortogonales. Este el caso, por ejemplo, cuando se tiene un tratamiento testigo que se desea comparar con el resto de los tratamientos experimentales. Si se tiene un testigo (T) y dos tratamientos nuevos (N1 y N2) y se desea comparar cada uno de los nuevos tratamientos versus el testigo, los contrastes serían:  $1 \ -1 \ 0$  (para

comparar T versus N1) y  $1\ 0\ -1$  (para comparar T versus N2). Estos contrastes no son ortogonales ya que su producto interno es distinto de cero (1 en este caso).

En síntesis el tipo de contraste a realizar dependerá de la hipótesis de investigación y de la estructura de los tratamientos.

## ANEXO 4

### Principales indicadores de estadística descriptiva: Aplicados a los datos de la investigación.

Variable	Etapas	Media	Desv.Est.	CoefVar	Mínimo	Máximo	Tolerancia Agua de Riego
<b>TEMPERATURA</b>	Inicial	16.72	0.40	2.41	16.00	17.00	
	T2	17.93	0.56	3.11	17.00	18.50	
	T3	17.52	0.70	3.98	17.00	18.50	
	T4	19.33	0.82	4.22	18.00	20.00	
<b>PH</b>	Inicial	1.67	0.12	7.27	1.50	1.80	6.5 - 8.5
	T2	2.43	1.36	55.86	1.70	5.20	
	T3	3.13	1.77	56.38	1.80	5.40	
	T4	3.04	1.16	38.24	2.14	5.04	
<b>SOLIDOS TOTALES</b>	Inicial	360.80	54.10	14.98	316.00	431.00	400
	T2	265.70	77.20	29.08	182.00	410.00	
	T3	260.33	12.03	4.62	248.00	282.00	
	T4	315.00	64.70	20.55	220.00	420.00	
<b>SOLIDOS DISUELTOS</b>	Inicial	208.20	28.20	13.54	184.00	246.00	
	T2	153.30	40.30	26.30	110.00	230.00	
	T3	147.83	10.52	7.11	130.00	160.00	
	T4	190.30	26.70	14.03	160.00	240.00	
<b>SOLIDOS SUSPENSIÓN</b>	Inicial	152.70	27.30	17.88	126.00	187.00	
	T2	112.30	37.30	33.20	72.00	180.00	
	T3	112.50	16.63	14.79	92.00	131.00	
	T4	124.70	40.10	32.19	60.00	180.00	
<b>ALCALINIDAD</b>	Inicial	31.17	12.97	41.62	22.40	56.00	175
	T2	19.00	6.71	35.30	12.40	29.60	
	T3	17.75	4.80	27.03	12.60	24.60	
	T4	16.57	18.71	112.94	6.80	54.60	
<b>CLORUROS</b>	Inicial	85.02	5.27	6.20	80.10	92.00	100 - 700
	T2	66.03	20.62	31.22	29.60	84.60	
	T3	72.50	29.70	40.99	12.40	89.40	
	T4	57.47	9.36	16.29	42.80	68.40	
<b>DUREZA TOTAL</b>	Inicial	299.17	19.05	6.37	264.00	320.00	200
	T2	236.30	31.20	13.18	210.00	293.00	
	T3	237.83	18.98	7.98	220.00	270.00	
	T4	279.70	26.40	9.43	228.00	300.00	
<b>DUREZA CALCICA</b>	Inicial	172.00	14.63	8.51	155.00	192.00	
	T2	139.70	26.10	18.68	120.00	188.00	
	T3	141.33	15.63	11.06	120.00	160.00	
	T4	163.67	12.88	7.87	149.00	180.00	
<b>DUREZA MAGNESIO</b>	Inicial	127.17	18.89	14.86	92.00	146.00	
	T2	96.67	9.83	10.17	85.00	110.00	
	T3	96.50	19.86	20.58	66.00	120.00	
	T4	116.00	28.70	24.78	60.00	140.00	

<b>MATERIA ORGÁNICA</b>	Inicial	0.56	0.18	32.83	0.35	0.84	2.001
	T2	0.46	0.22	47.26	0.30	0.83	
	T3	0.36	0.08	22.16	0.29	0.50	
	T4	0.49	0.08	16.83	0.40	0.62	
<b>SULFATOS</b>	Inicial	155.80	13.24	8.50	136.00	166.80	300
	T2	105.65	12.55	11.87	97.80	130.00	
	T3	94.57	3.08	3.26	91.00	97.80	
	T4	144.70	32.80	22.65	80.40	165.00	
<b>HIERRO</b>	Inicial	0.66	0.09	13.67	0.60	0.84	1
	T2	0.48	0.21	43.12	0.18	0.80	
	T3	0.54	0.14	25.04	0.38	0.74	
	T4	0.53	0.12	22.65	0.30	0.61	
<b>ZINC</b>	Inicial	3.04	0.22	7.33	2.83	3.42	2
	T2	2.42	0.72	29.66	1.30	3.20	
	T3	2.38	0.17	7.23	2.10	2.60	
	T4	2.48	0.72	29.15	1.02	2.90	
<b>PLOMO</b>	Inicial	0.05	0.01	24.45	0.04	0.07	0.05
	T2	0.04	0.01	37.26	0.02	0.06	
	T3	0.02	0.01	62.21	0.01	0.05	
	T4	0.03	0.01	36.51	0.01	0.04	

### Análisis inferencial de los indicadores de calidad para el agua:

Continuando con el análisis de datos, realizamos un proceso experimental con dos factores con interacción: el lugar o zona de cobertura, el periodo o etapa de la toma de datos:

i) Para la zona

Ho: UA = UB

H1: UA <> UB

ii) Para la etapa

Ho: U1=U2=U3=U4

H1: al menos un promedio es diferente.

iii) Para la interacción

Ho: No hay interacción

H1: Si hay interacción.

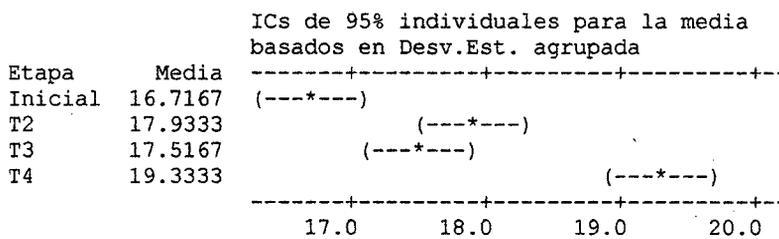
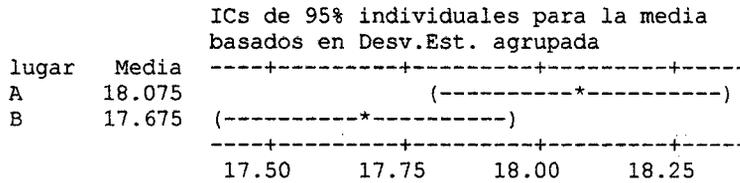
Usamos en todos los casos un nivel de significación del 5%.

**Nota:** si p-valor es menor a 0.05 ó 5% entonces se rechaza la hipótesis nula (Ho).

**ANOVA de dos factores: TEMPERATURA vs. lugar, Etapa**

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Lugar	1	0.9600	0.96000	4.51	0.050
Etapa	3	21.6017	7.20056	33.82	0.000
Interacción	3	3.7567	1.25222	5.88	0.007
Error	16	3.4067	0.21292		
Total	23	29.7250			

S = 0.4614 R-cuad. = 88.54% R-cuad.(ajustado) = 83.53%



**Discusiones del análisis inferencial:**

- i) Para la zona: Si hay diferencias significativas para la temperatura según zona al 5% de significación.
- ii) Para la etapa: No existe diferencias significativas para la temperatura según la etapa inicial y los demás periodos, con una significancia del 5%.
- iii) Para la interacción: No existe interacción para la temperatura del agua según zona y etapa, con un 5% de significación.

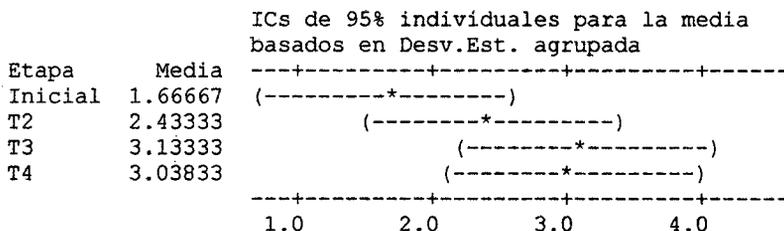
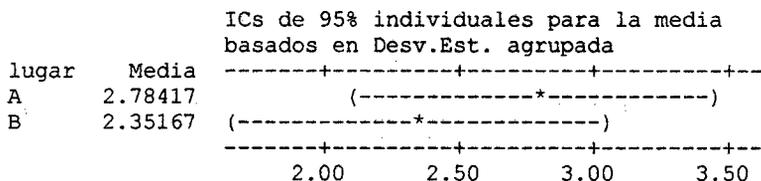
## 2) Análisis de varianza para el PH

Tolerancia permisible para la calidad de agua para riego: 6.5 - 8.5

### ANOVA de dos factores: PH vs. lugar, Etapa

Fuente	GL	SC	MC	F	P
lugar	1	1.1223	1.12234	0.89	0.360
Etapa	3	8.2281	2.74270	2.17	0.131
Interacción	3	10.3525	3.45085	2.73	0.078
Error	16	20.1908	1.26193		
Total	23	39.8938			

S = 1.123 R-cuad. = 49.39% R-cuad.(ajustado) = 27.25%



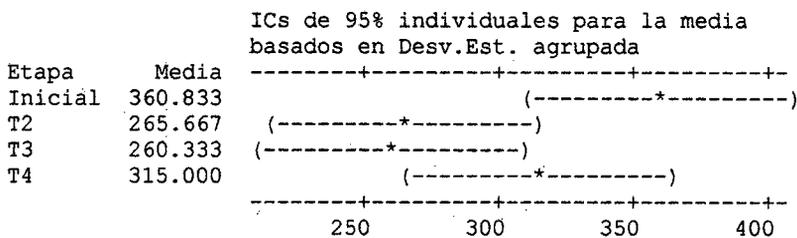
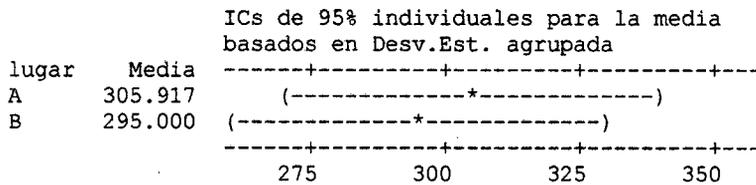
### Discusiones del análisis inferencial:

- Para la zona: No hay diferencias significativas para pH según zona al 5% DE SIGNIFICACIÓN.
- Para la etapa: Si existe diferencias significativas para pH según la etapa inicial y los demás periodos, con una significancia del 5%.
- Para la interacción: Si existe interacción para pH del agua según zona y etapa, con un 5% de significación.
- El nivel de PH se encuentra por debajo del estándar permisible de calidad de agua para riego de plantas tallo alto ó tallo bajo, pues es un agua ácida.

## ANOVA de dos factores: SOLIDOS TOTALES vs. lugar, Etapa

Fuente	GL	SC	MC	F	P
lugar	1	715	715.0	0.22	0.645
Etapa	3	40062	13354.2	4.12	0.024
Interacción	3	13592	4530.8	1.40	0.279
Error	16	51816	3238.5		
Total	23	106186			

S = 56.91 R-cuad. = 51.20% R-cuad. (ajustado) = 29.85%



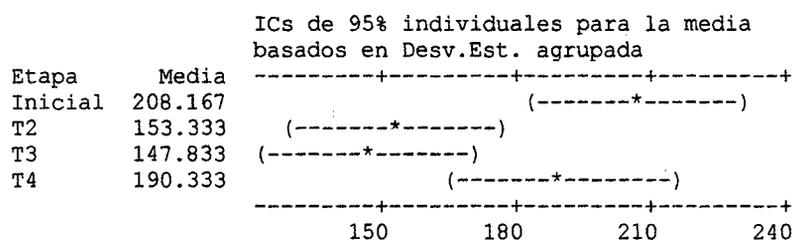
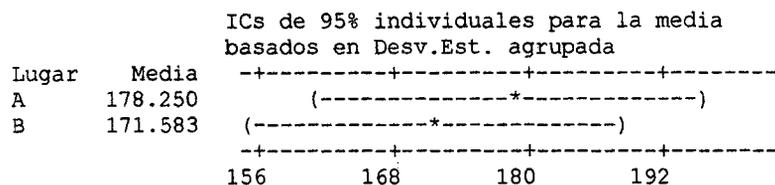
### Discusiones del análisis inferencial:

- i) Para la zona: No hay diferencias significativas para solidos totales según zona al 5% DE SIGNIFICACIÓN.
- ii) Para la etapa: Si existe diferencias significativas para solidos totales según la etapa inicial y los demás periodos, con una significancia del 5%.
- iii) Para la interacción: Si existe interacción para solidos totales del agua según zona y etapa, con un 5% de significación.

## ANOVA de dos factores: SOLIDOS DISUELTOS vs. lugar, Etapa

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Lugar	1	266.7	266.67	0.34	0.567
Etapa	3	15255.5	5085.17	6.51	0.004
Interacción	3	3459.7	1153.22	1.48	0.259
Error	16	12496.0	781.00		
Total	23	31477.8			

S = 27.95 R-cuad. = 60.30% R-cuad.(ajustado) = 42.93%



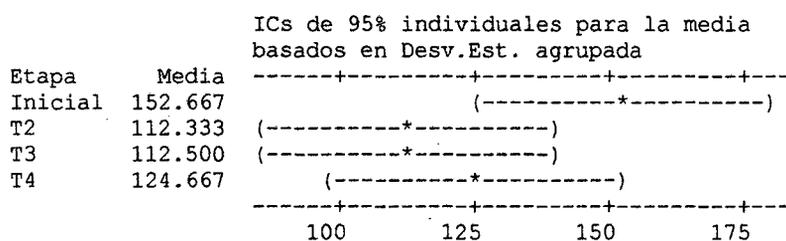
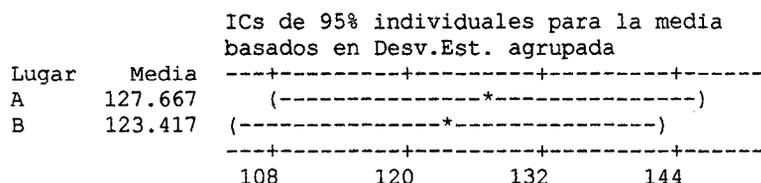
### Discusiones del análisis inferencial:

- i) Para la zona: No hay diferencias significativas para sólidos disueltos según zona al 5% DE SIGNIFICACIÓN.
- ii) Para la etapa: Si existe diferencias significativas para sólidos disueltos según la etapa inicial y los demás periodos, con una significancia del 5%.
- iii) Para la interacción: Si existe interacción para sólidos disueltos del agua según zona y etapa, con un 5% de significación.

## ANOVA de dos factores: SÓLIDOS SUSPENSIÓN vs. lugar, Etapa

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Lugar	1	108.4	108.38	0.11	0.746
Etapa	3	6486.5	2162.15	2.17	0.132
Interacción	3	4045.1	1348.37	1.35	0.293
Error	16	15966.0	997.88		
Total	23	26606.0			

S = 31.59    R-cuad. = 39.99%    R-cuad.(ajustado) = 13.74%



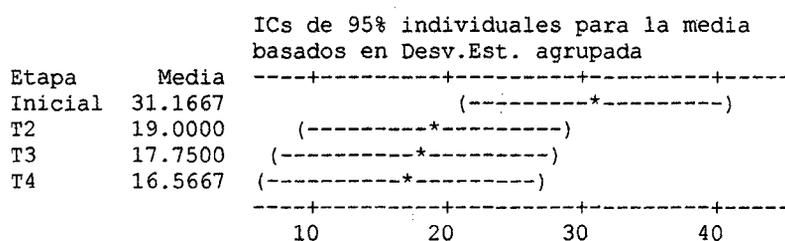
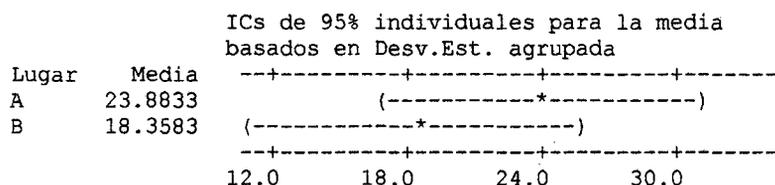
### Discusiones del análisis inferencial:

- i) Para la zona: No hay diferencias significativas para sólidos en suspensión según zona al 5% DE SIGNIFICACIÓN.
- ii) Para la etapa: Si existe diferencias significativas para sólidos en suspensión según la etapa inicial y los demás periodos, con una significancia del 5%.
- iii) Para la interacción: Si existe interacción para sólidos en suspensión del agua según zona y etapa, con un 5% de significación.

## ANOVA de dos factores: ALCALINIDAD vs. lugar, Etapa

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Lugar	1	183.15	183.154	1.30	0.271
Etapa	3	825.12	275.039	1.95	0.162
Interacción	3	491.46	163.820	1.16	0.355
Error	16	2257.17	141.073		
Total	23	3756.90			

S = 11.88 R-cuad. = 39.92% R-cuad.(ajustado) = 13.63%



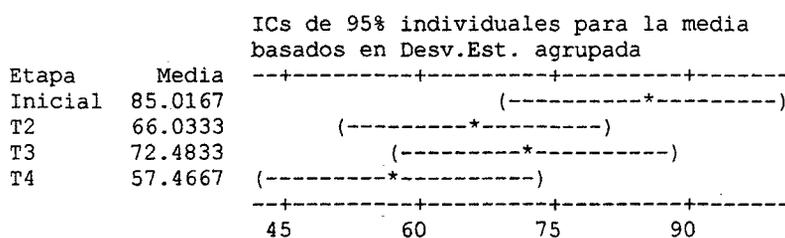
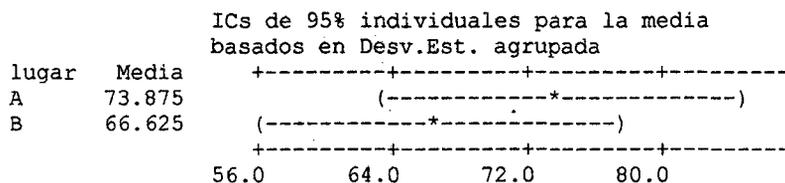
### Discusiones del análisis inferencial:

- i) Para la zona: No hay diferencias significativas para la alcalinidad según zona al 5% DE SIGNIFICACIÓN.
- ii) Para la etapa: Si existe diferencias significativas para la alcalinidad según la etapa inicial y los demás periodos, con una significancia del 5%.
- iii) Para la interacción: Si existe interacción para la alcalinidad del agua según zona y etapa, con un 5% de significación.

## ANOVA de dos factores: CLORUROS vs. lugar, Etapa

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Lugar	1	315.37	315.375	0.97	0.339
Etapa	3	2425.42	808.472	2.49	0.097
Interacción	3	1613.83	537.945	1.66	0.216
Error	16	5185.73	324.108		
Total	23	9540.36			

S = 18.00 R-cuad. = 45.64% R-cuad.(ajustado) = 21.86%



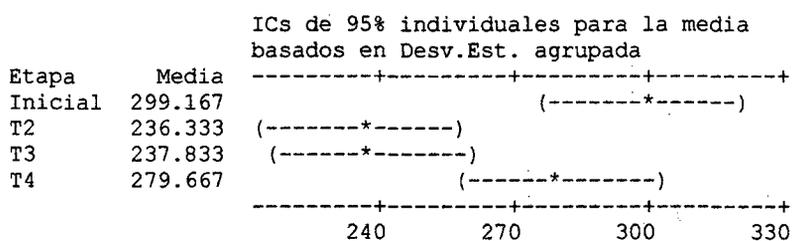
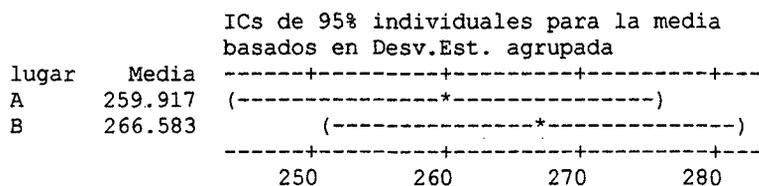
### Discusiones del análisis inferencial:

- i) Para la zona: No hay diferencias significativas para cloruros según zona al 5% DE SIGNIFICACIÓN.
- ii) Para la etapa: Si existe diferencias significativas para cloruros según la etapa inicial y los demás periodos, con una significancia del 5%.
- iii) Para la interacción: Si existe interacción para cloruros del agua según zona y etapa, con un 5% de significación.

## ANOVA de dos factores: DUREZA TOTAL vs. lugar, Etapa

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Lugar	1	266.7	266.67	0.40	0.538
Etapa	3	17580.2	5860.06	8.69	0.001
Interacción	3	884.3	294.78	0.44	0.730
Error	16	10793.3	674.58		
Total	23	29524.5			

S = 25.97 R-cuad. = 63.44% R-cuad.(ajustado) = 47.45%



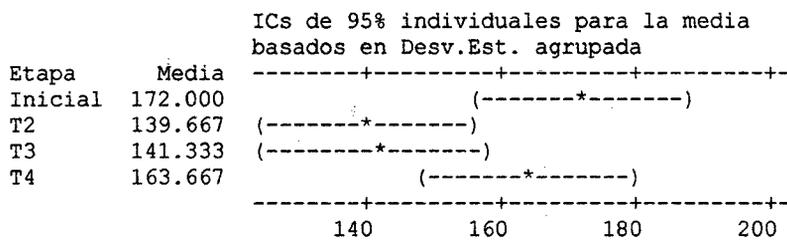
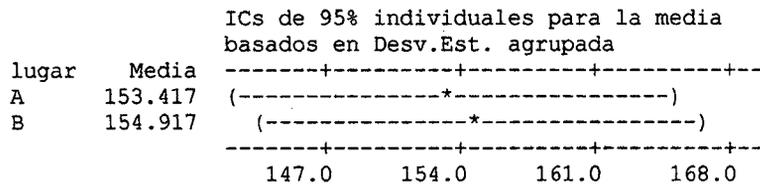
### Discusiones del análisis inferencial:

- i) Para la zona: No hay diferencias significativas para dureza total según zona al 5% DE SIGNIFICACIÓN.
- ii) Para la etapa: Si existe diferencias significativas para dureza total según la etapa inicial y los demás periodos, con una significancia del 5%.
- iii) Para la interacción: Si existe interacción para dureza total del agua según zona y etapa, con un 5% de significación.

## ANOVA de dos factores: DUREZA CALCICA vs. lugar, Etapa

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Lugar	1	13.5	13.50	0.04	0.849
Etapa	3	4699.3	1566.44	4.36	0.020
Interacción	3	756.5	252.17	0.70	0.565
Error	16	5754.0	359.62		
Total	23	11223.3			

S = 18.96 R-cuad. = 48.73% R-cuad.(ajustado) = 26.30%



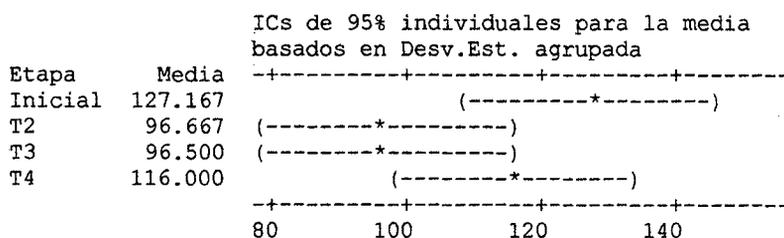
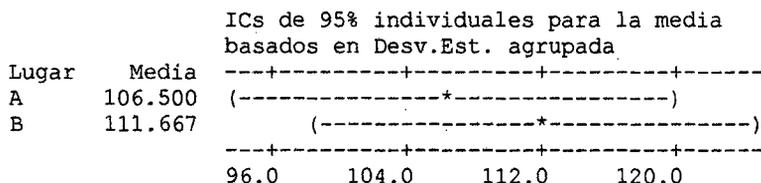
### Discusiones del análisis inferencial:

- i) Para la zona: No hay diferencias significativas para la dureza cálcica según zona al 5% DE SIGNIFICACIÓN.
- ii) Para la etapa: Si existe diferencias significativas para la dureza cálcica según la etapa inicial y los demás periodos, con una significancia del 5%.
- iii) Para la interacción: Si existe interacción para la dureza cálcica del agua según zona y etapa, con un 5% de significación.

## ANOVA de dos factores: DUREZA MAGNESIO vs. lugar, Etapa

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Lugar	1	160.2	160.17	0.34	0.568
Etapa	3	4124.2	1374.72	2.92	0.066
Interacción	3	677.5	225.83	0.48	0.701
Error	16	7532.0	470.75		
Total	23	12493.8			

S = 21.70 R-cuad. = 39.71% R-cuad.(ajustado) = 13.34%



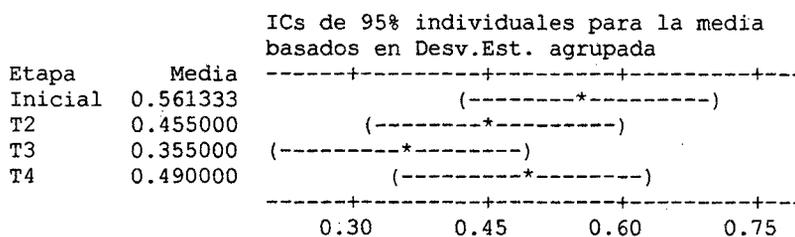
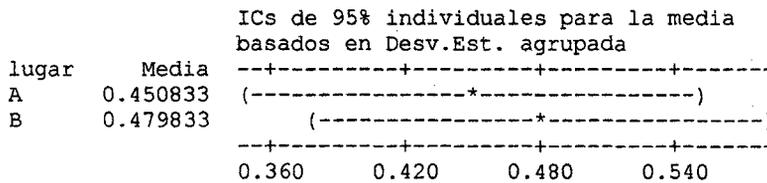
### Discusiones del análisis inferencial:

- i) Para la zona: No hay diferencias significativas para la dureza magnesio según zona al 5% DE SIGNIFICACIÓN.
- ii) Para la etapa: Si existe diferencias significativas para la dureza magnesio según la etapa inicial y los demás periodos, con una significancia del 5%.
- iii) Para la interacción: Si existe interacción para la dureza magnesio del agua según zona y etapa, con un 5% de significación.

## ANOVA de dos factores: MATERIA ORGANICA vs. lugar, Etapa

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Lugar	1	0.005046	0.0050460	0.19	0.672
Etapa	3	0.132628	0.0442093	1.63	0.221
Interacción	3	0.027678	0.0092260	0.34	0.796
Error	16	0.433149	0.0270718		
Total	23	0.598501			

S = 0.1645    R-cuad. = 27.63%    R-cuad.(ajustado) = 0.00%



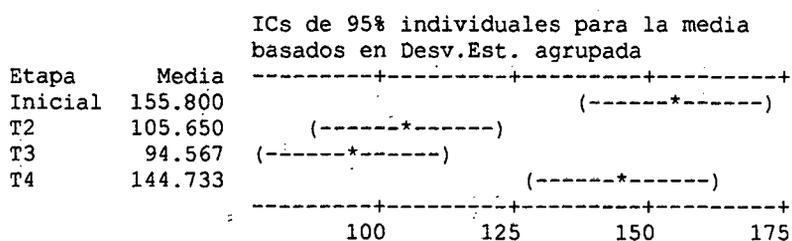
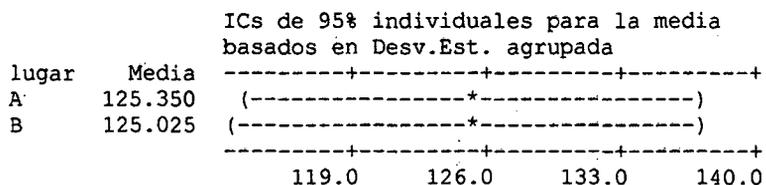
### Discusiones del análisis inferencial:

- i) Para la zona: No hay diferencias significativas para la materia orgánica según zona al 5% DE SIGNIFICACIÓN.
- ii) Para la etapa: Si existe diferencias significativas para la materia orgánica según la etapa inicial y los demás periodos, con una significancia del 5%.
- iii) Para la interacción: Si existe interacción para la materia orgánica del agua según zona y etapa, con un 5% de significación.

## ANOVA de dos factores: SULFATOS vs. lugar, Etapa

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Lugar	1	0.6	0.63	0.00	0.968
Etapa	3	15831.1	5277.03	13.48	0.000
Interacción	3	819.8	273.25	0.70	0.567
Error	16	6262.2	391.39		
Total	23	22913.6			

S = 19.78 R-cuad. = 72.67% R-cuad.(ajustado) = 60.71%



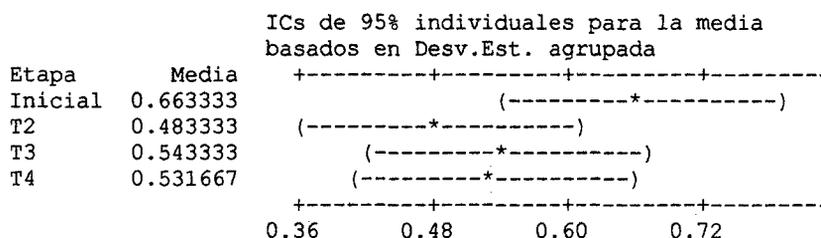
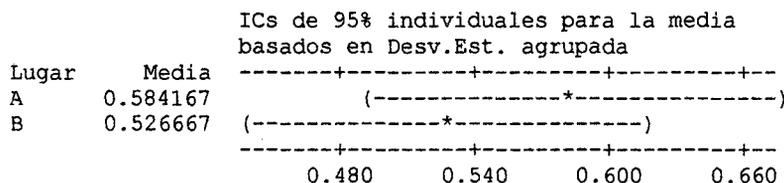
### Discusiones del análisis inferencial:

- i) Para la zona: No hay diferencias significativas para sulfatos según zona al 5% DE SIGNIFICACIÓN.
- ii) Para la etapa: Si existe diferencias significativas para sulfatos según la etapa inicial y los demás periodos, con una significancia del 5%.
- iii) Para la interacción: Si existe interacción para sulfatos en el agua según zona y etapa, con un 5% de significación.

## ANOVA de dos factores: HIERRO vs. lugar, Etapa

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Lugar	1	0.019838	0.0198375	0.90	0.357
Etapa	3	0.105312	0.0351042	1.59	0.231
Interacción	3	0.050446	0.0168153	0.76	0.532
Error	16	0.353000	0.0220625		
Total	23	0.528596			

S = 0.1485 R-cuad. = 33.22% R-cuad.(ajustado) = 4.00%



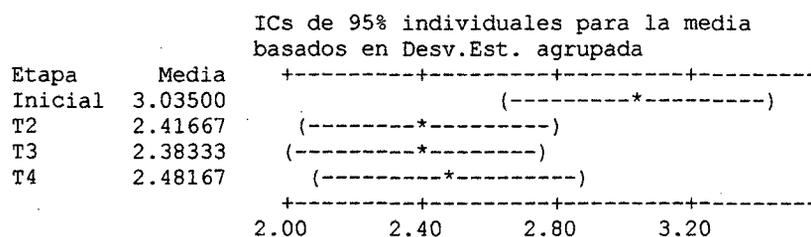
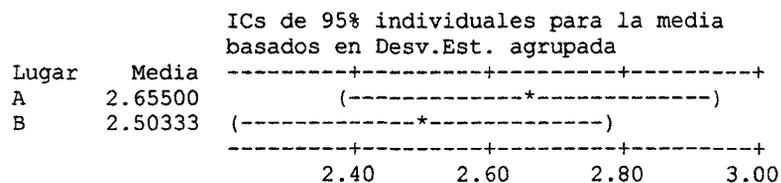
### Discusiones del análisis inferencial:

- i) Para la zona: No hay diferencias significativas para hierro según zona al 5% DE SIGNIFICACIÓN.
- ii) Para la etapa: Si existe diferencias significativas para hierro según la etapa inicial y los demás periodos, con una significancia del 5%.
- iii) Para la interacción: Si existe interacción para hierro en el agua según zona y etapa, con un 5% de significación.

## ANOVA de dos factores: ZINC vs. Lugar, Etapa

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Lugar	1	0.13802	0.138017	0.68	0.421
Etapa	3	1.69228	0.564094	2.79	0.074
Interacción	3	2.20482	0.734939	3.63	0.036
Error	16	3.23747	0.202342		
Total	23	7.27258			

S = 0.4498    R-cuad. = 55.48%    R-cuad.(ajustado) = 36.01%



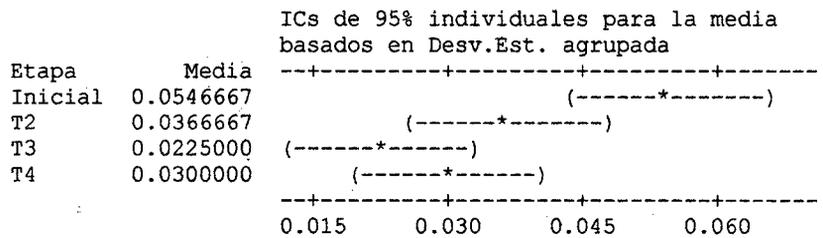
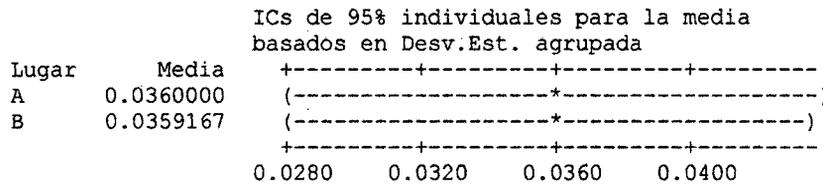
### Discusiones del análisis inferencial:

- i) Para la zona: No hay diferencias significativas para Zinc según zona al 5% DE SIGNIFICACIÓN.
- ii) Para la etapa: Si existe diferencias significativas para Zinc según la etapa inicial y los demás periodos, con una significancia del 5%.
- iii) Para la interacción: Si existe interacción para Zinc en el agua según zona y etapa, con un 5% de significación.

**ANOVA de dos factores: PLOMO vs. lugar, Etapa**

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Lugar	1	0.0000000	0.0000000	0.00	0.988
Etapa	3	0.0034028	0.0011343	6.85	0.004
Interacción	3	0.0007575	0.0002525	1.53	0.246
Error	16	0.0026487	0.0001655		
Total	23	0.0068090			

S = 0.01287    R-cuad. = 61.10%    R-cuad. (ajustado) = 44.08%



**Discusiones del análisis inferencial:**

- i) Para la zona: No hay diferencias significativas para plomo según zona al 5% DE SIGNIFICACIÓN.
- ii) Para la etapa: Si existe diferencias significativas para plomo según la etapa inicial y los demás periodos, con una significancia del 5%.
- iii) Para la interacción: Si existe interacción para plomo en el agua según zona y etapa, con un 5% de significación.

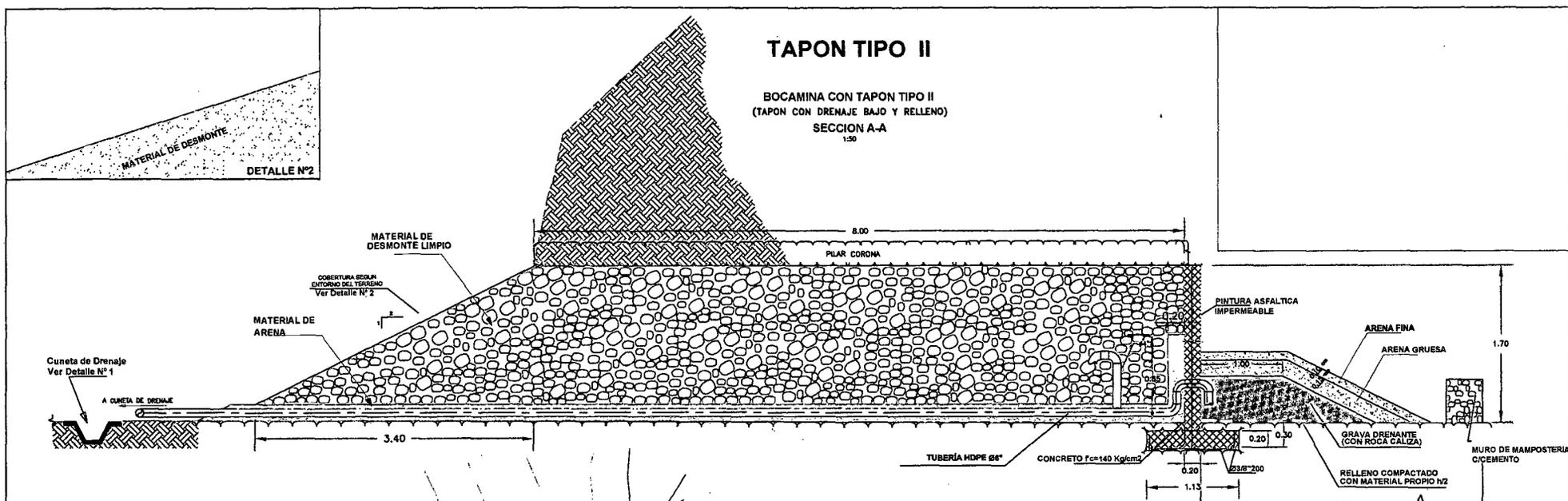
## **ANEXO 5**

### **PLANOS DE LAS ESTRUCTURAS**

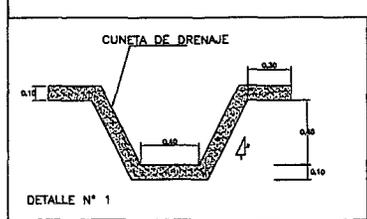
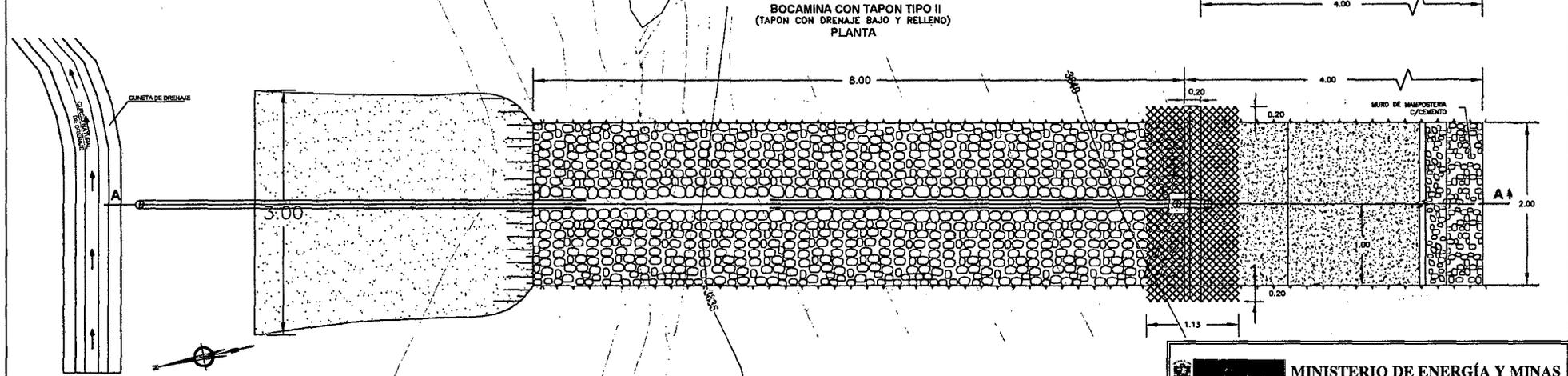
**ESTRUCTURAS TIPO I  
MINA BANCO MINERO**

# TAPON TIPO II

BOCAMINA CON TAPON TIPO II  
(TAPON CON DRENAJE BAJO Y RELLENO)  
SECCION A-A  
1:30



BOCAMINA CON TAPON TIPO II  
(TAPON CON DRENAJE BAJO Y RELLENO)  
PLANTA



1.70 = Altura de la Bocamina  
8.00 = Línea Segura  
2.00 = Ancho de la Bocamina

COORDENADAS	ALTITUD	CUNETA DE DRENAJE TIPO I (M <sup>2</sup> )	AREA DE COBERTURA (M <sup>2</sup> )	RELLENO DE MATERIAL DE DESMORTE (M <sup>3</sup> )
766093	9252267	3632	114.0	35.87

**MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS**

Proyecto: INGENIERÍA DE DETALLE DE LA REMEDIACIÓN DE 64 PASIVOS AMBIENTALES MINEROS-EL DORADO

Título: CIERRE DE BOCAMINAS TAPON TIPO II (TIPO B)

Revisado por: ING. CESAR QUIROZ ALVAREZ CIP:40893

Escala: 1/80

Folios: BOC-ED-LL-12

Ubicación: DISTRITO: HUALGAYOC  
PROVINCIA: BAMBAMARCA  
DEPARTAMENTO: CAJAMARCA

Fecha: DICIEMBRE-2011

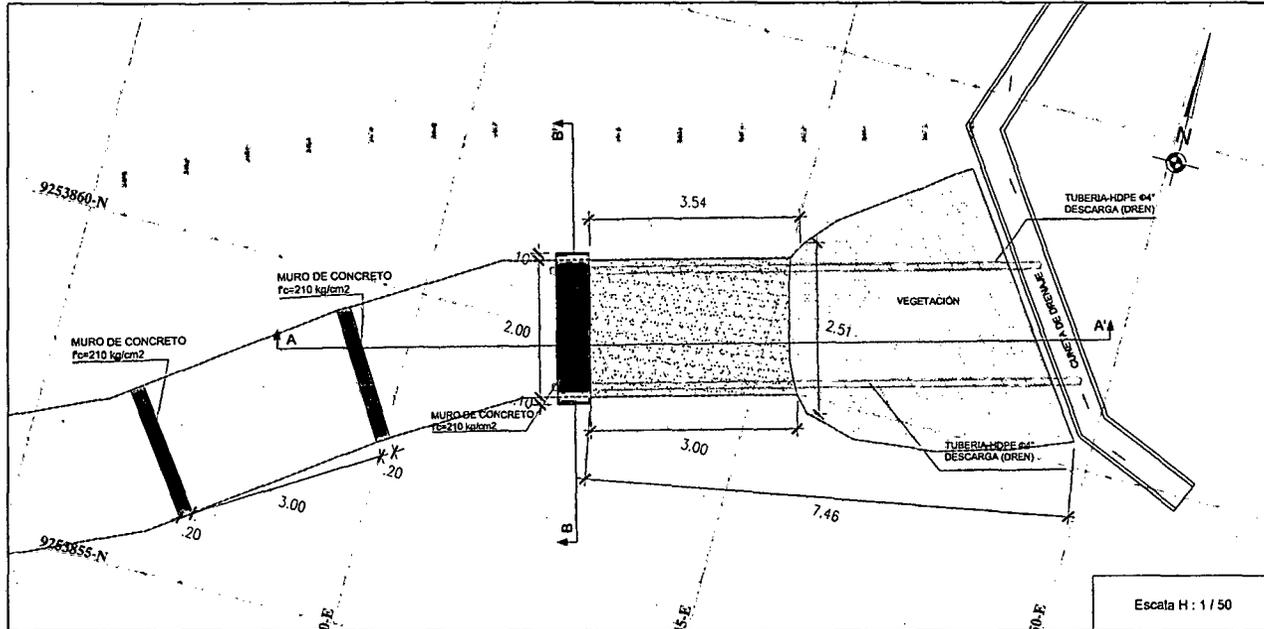
Diseñado por: A.C.P.

Datum: PSAD 66, Zona 17S

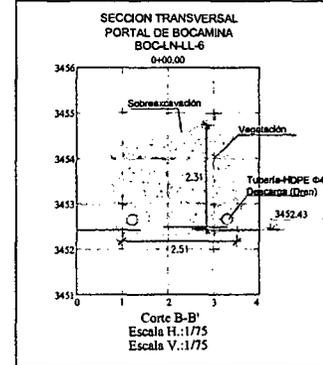
**CONSORCIO EL DORADO**

**ESTRUCTURAS TIPO II**  
**MINA TAHONA**

VISTA DE PLANTA



Escala H.: 1 / 50



Corte B-B'  
Escala H.: 1/75  
Escala V.: 1/75

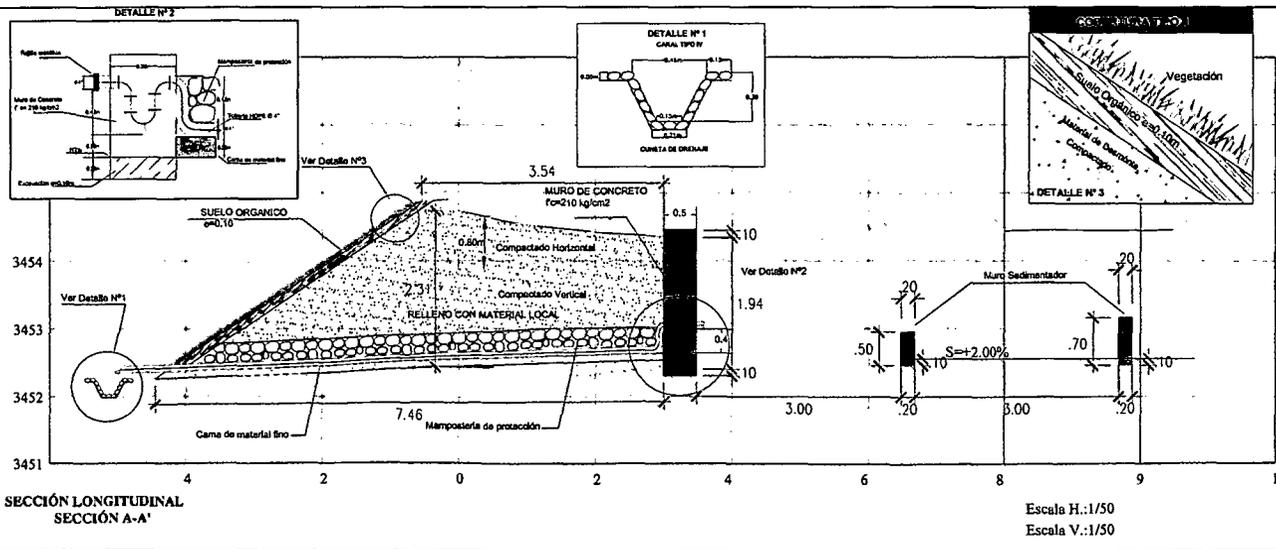
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

- NOTA:
- Las unidades en el plano se encuentren en metros.
  - El relleno se efectuará con el material propio del lugar.
  - Compactado manual c/0.4m

COMPONENTES MINEROS				
Código	Coordenadas UTM Este	Norte	Altim (m.s.n.m.)	Sección Alto (m) Ancho (m)
BOCAMINA	753642	6253861	3317	2.31 2.51

DATOS TÉCNICOS DE LA ROCA			
Cantidad de Roca	ROD	RMDI	
Regalar B/A	80-76	40	

CIERRE DE BOCAMINAS	
Actividades de Cierre	
* Relleno con material local * Canal Topo (H) (Cuerpo de Drenaje) * Construcción Topo	

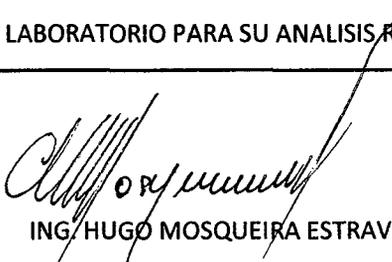


Escala H.: 1/50  
Escala V.: 1/50

<b>MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS</b>			
Proyecto: <b>ESTUDIO DEFINITIVO PARA EL CIERRE DE 53 PASTIVOS LA TABONA</b>			
ACTIVIDAD DE CIERRE			
Plano: <b>CIERRE DE BOCAMINA BOC-LN-LL-6</b>			Lamina: <b>PT-AC-15</b>
Escala: Indicada	Fecha: Junio 2012	Levantamiento: E.A.M.	Diseño: M.V.R.
Revisado: H.B.	Aprobado: H.B.	<b>CONSORCIO CORSA</b>	
Fuente: Levantamiento Topográfico		Datum: Horizontal PSAD 56, Zona 17L	

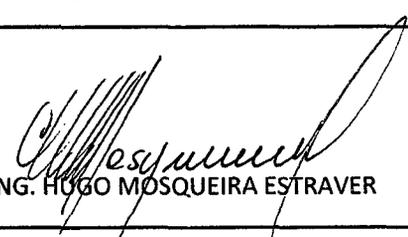
## **ANEXO 6**

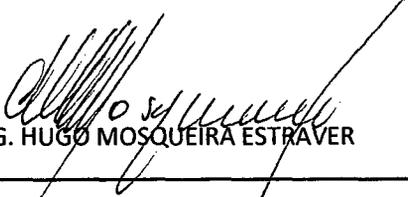
### **CERTIFICADOS DE ANÁLISIS DE AGUA**

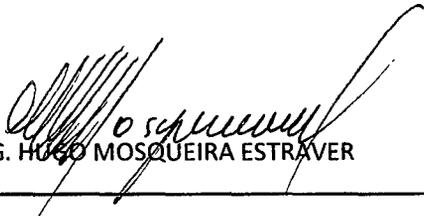
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE MINERALES - UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA			
ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE UNA MUESTRA DE AGUA			
SOLICITA:	SAMUEL DÍAZ GÁLVEZ		
TESIS:	EFICIENCIA DE LAS ESTRUCTURAS CONSTRUIDAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA EN EL CIERRE DE ACTIVIDADES EN LA MINA BANCO MINERO Y TAHONA-HUALGAYOC-CAJAMARCA		
PROCEDENCIA:	BANCO MINERO-HUALGAYOC		
CODIGO MUESTRA:	P1		
FECHA:	07/04/2013		
			UNIDAD
I)	ANÁLISIS ORGANOLEPTICO		
	COLOR	MARRON CLARO	
	OLOR	INODORO	
	SEDIMENTOS	PRESENCIA	
II)	ANÁLISIS FÍSICO		
	TEMPERATURA	16.5	°C
	PH	1.8	
	SOLIDOS TOTALES	429	ppm
	SOLIDOS DISUELTOS	242	ppm
	SOLIDOS SUSPENSION	187	ppm
III)	ANÁLISIS QUÍMICO		
	ALCALINIDAD	56	ppm CaCO <sub>3</sub>
	CLORUROS	92	ppm CL A 1-
	DUREZA TOTAL	264	ppm CaCO <sub>3</sub>
	DUREZA CALCICA	172	ppm CaCO <sub>3</sub>
	DUREZA MAGNESICA	92	ppm CaCO <sub>3</sub>
	MATERIA ORGANICA	0.72	ppm O <sub>2</sub>
	SULFATOS	136	(SO <sub>4</sub> )Λ 2-
	HIERRO	0.6	mg Fe/l
	ZINC	3.1	mg Zn / l
	PLOMO	0.07	mg Pb/l
CONCLUSIÓN	ES UNA MUESTRA QUE CONTIENE UN PH COMPLETAMENTE ÁCIDO, LO QUE INDICA QUE DEBE TENER UNA ALTA CONCENTRACION DE IONES HIDROGENIONES Y DE METALES.		
NOTA	LA MUESTRA FUE ALCANZADA A ESTE LABORATORIO PARA SU ANÁLISIS RESPECTIVO		
REPRESENTANTE DEL LABORATORIO	 ING. HUGO MOSQUEIRA ESTRAVER		

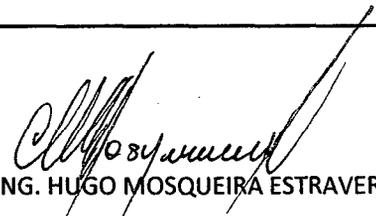
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE MINERALES - UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA			
ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE UNA MUESTRA DE AGUA			
SOLICITA:	SAMUEL DÍAZ GÁLVEZ		
TESIS:	EFICIENCIA DE LAS ESTRUCTURAS CONSTRUIDAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA EN EL CIERRE DE ACTIVIDADES EN LA MINA BANCO MINERO Y TAHONA-HUALGAYOC-CAJAMARCA		
PROCEDENCIA:	BANCO MINERO-HUALGAYOC		
CODIGO MUESTRA:	P2		
FECHA:	07/04/2013		
			UNIDAD
I)	ANÁLISIS ORGANOLEPTICO		
	COLOR	INCOLORO	
	OLOR	INODORO	
	SEDIMENTOS	PRESENCIA	
II)	ANÁLISIS FISICO		
	TEMPERATURA	16	°C
	PH	1.5	
	SOLIDOS TOTALES	332	ppm
	SOLIDOS DISUELTOS	196	ppm
	SOLIDOS SUSPENSION	136	ppm
III)	ANÁLISIS QUIMICO		
	ALCALINIDAD	24	ppm CaCO3
	CLORUROS	86.2	ppm CL A 1-
	DUREZA TOTAL	311	ppm CaCO3
	DUREZA CALCICA	186	ppm CaCO3
	DUREZA MAGNESICA	125	ppm CaCO3
	MATERIA ORGANICA	0.35	ppm O2
	SULFATOS	166.8	(SO4)A 2-
	HIERRO	0.84	mg Fe/l
	ZINC	3.42	mg Zn / l
	PLOMO	0.04	mg Pb/l
CONCLUSION	ES UNA MUESTRA QUE CONTIENE UN PH COMPLETAMENTE ÁCIDO, LO QUE INDICA QUE DEBE TENER UNA ALTA CONCENTRACION DE IONES HIDROGENIONES Y DE METALES.		
NOTA	LA MUESTRA FUE ALCANZADA A ESTE LABORATORIO PARA SU ANÁLISIS RESPECTIVO		
REPRESENTANTE DEL LABORATORIO	 ING. HUGO MOSQUEIRA ESTRAVER		

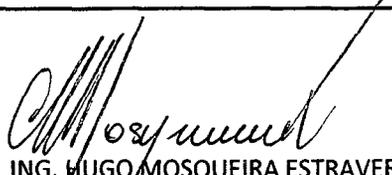
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE MINERALES - UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA			
ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE UNA MUESTRA DE AGUA			
SOLICITA:	SAMUEL DÍAZ GÁLVEZ		
TESIS:	EFICIENCIA DE LAS ESTRUCTURAS CONSTRUIDAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA EN EL CIERRE DE ACTIVIDADES EN LA MINA BANCO MINERO Y TAHONA-HUALGAYOC-CAJAMARCA		
PROCEDENCIA:	BANCO MINERO-HUALGAYOC		
CODIGO MUESTRA:	P3		
FECHA:	07/04/2013		
			UNIDAD
I)	ANÁLISIS ORGANOLEPTICO		
	COLOR	INCOLORO	
	OLOR	INODORO	
	SEDIMENTOS	PRESENCIA	
II)	ANÁLISIS FÍSICO		
	TEMPERATURA	17	°C
	PH	1.6	
	SOLIDOS TOTALES	336	ppm
	SOLIDOS DISUELTOS	184	ppm
	SOLIDOS SUSPENSION	152	ppm
III)	ANÁLISIS QUIMICO		
	ALCALINIDAD	35	ppm CaCO3
	CLORUROS	90.3	ppm CL A 1-
	DUREZA TOTAL	301	ppm CaCO3
	DUREZA CALCICA	155	ppm CaCO3
	DUREZA MAGNESICA	146	ppm CaCO3
	MATERIA ORGANICA	0.52	ppm O2
	SULFATOS	164	(SO4)A 2-
	HIERRO	0.62	mg Fe/l
	ZINC	2.9	mg Zn / l
	PLOMO	0.06	mg Pb/l
CONCLUSION	ES UNA MUESTRA QUE CONTIENE UN PH COMPLETAMENTE ÁCIDO, LO QUE INDICA QUE DEBE TENER UNA ALTA CONCENTRACION DE IONES HIDROGENIONES Y DE METALES.		
NOTA	LA MUESTRA FUE ALCANZADA A ESTE LABORATORIO PARA SU ANÁLISIS RESPECTIVO		
REPRESENTANTE DEL LABORATORIO	 ING. FIGO MOSQUEIRA ESTRAVER		

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE MINERALES - UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA			
ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE UNA MUESTRA DE AGUA			
SOLICITA:		SAMUEL DÍAZ GÁLVEZ	
TESIS:		EFICIENCIA DE LAS ESTRUCTURAS CONSTRUIDAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA EN EL CIERRE DE ACTIVIDADES EN LA MINA BANCO MINERO Y TAHONA-HUALGAYOC-CAJAMARCA	
PROCEDENCIA:		BANCO MINERO-HUALGAYOC	
CODIGO MUESTRA:		P4	
FECHA:		07/04/2013	
			UNIDAD
I)	ANÁLISIS ORGANOLEPTICO		
	COLOR	INCOLORO	
	OLOR	INODORO	
	SEDIMENTOS	NULO	
II)	ANÁLISIS FÍSICO		
	TEMPERATURA	17	°C
	PH	1.6	
	SOLIDOS TOTALES	321	ppm
	SOLIDOS DISUELTOS	195	ppm
	SOLIDOS SUSPENSION	126	ppm
III)	ANÁLISIS QUÍMICO		
	ALCALINIDAD	25.4	ppm CaCO <sub>3</sub>
	CLORUROS	80.6	ppm CL Λ 1-
	DUREZA TOTAL	299	ppm CaCO <sub>3</sub>
	DUREZA CALCICA	159	ppm CaCO <sub>3</sub>
	DUREZA MAGNESICA	140	ppm CaCO <sub>3</sub>
	MATERIA ORGANICA	0.52	ppm O <sub>2</sub>
	SULFATOS	164	(SO <sub>4</sub> )Λ 2-
	HIERRO	0.68	mg Fe/l
	ZINC	2.86	mg Zn / l
	PLOMO	0.068	mg Pb/l
CONCLUSION	ES UNA MUESTRA QUE CONTIENE UN PH COMPLETAMENTE ÁCIDO, LO QUE INDICA QUE DEBE TENER UNA ALTA CONCENTRACION DE IONES HIDROGENIONES Y DE METALES.		
NOTA	LA MUESTRA FUE ALCANZADA A ESTE LABORATORIO PARA SU ANÁLISIS RESPECTIVO		
REPRESENTANTE DEL LABORATORIO		 ING. HUGO MOSQUEIRA ESTRAVER	

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE MINERALES - UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA			
ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE UNA MUESTRA DE AGUA			
SOLICITA:	SAMUEL DÍAZ GÁLVEZ		
TESIS:	EFICIENCIA DE LAS ESTRUCTURAS CONSTRUIDAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA EN EL CIERRE DE ACTIVIDADES EN LA MINA BANCO MINERO Y TAHONA-HUALGAYOC-CAJAMARCA		
PROCEDENCIA:	BANCO MINERO-HUALGAYOC		
CODIGO MUESTRA:	P5		
FECHA:	07/04/2013		
			UNIDAD
I)	ANÁLISIS ORGANOLEPTICO		
	COLOR	INCOLORO	
	OLOR	INODORO	
	SEDIMENTOS	NULO	
II)	ANÁLISIS FISICO		
	TEMPERATURA	17	°C
	PH	1.7	
	SOLIDOS TOTALES	431	ppm
	SOLIDOS DISUELTOS	246	ppm
	SOLIDOS SUSPENSION	185	ppm
III)	ANÁLISIS QUIMICO		
	ALCALINIDAD	24.2	ppm CaCO3
	CLORUROS	80.1	ppm Cl A 1-
	DUREZA TOTAL	300	ppm CaCO3
	DUREZA CALCICA	168	ppm CaCO3
	DUREZA MAGNESICA	132	ppm CaCO3
	MATERIA ORGANICA	0.42	ppm O2
	SULFATOS	142	(SO4) A 2-
	HIERRO	0.62	mg Fe/l
	ZINC	3.1	mg Zn / l
	PLOMO	0.04	mg Pb/l
CONCLUSION	ES UNA MUESTRA QUE CONTIENE UN PH COMPLETAMENTE ÁCIDO, LO QUE INDICA QUE DEBE TENER UNA ALTA CONCENTRACION DE IONES HIDROGENIONES Y DE METALES.		
NOTA	LA MUESTRA FUE ALCANZADA A ESTE LABORATORIO PARA SU ANALISIS RESPECTIVO		
REPRESENTANTE DEL LABORATORIO	 ING. HUGO MOSQUEIRA ESTRAVER		

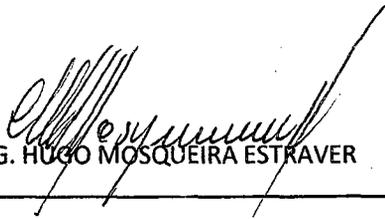
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE MINERALES - UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA			
ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE UNA MUESTRA DE AGUA			
SOLICITA:	SAMUEL DÍAZ GÁLVEZ		
TESIS:	EFICIENCIA DE LAS ESTRUCTURAS CONSTRUIDAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA EN EL CIERRE DE ACTIVIDADES EN LA MINA BANCO MINERO Y TAHONA-HUALGAYOC-CAJAMARCA		
PROCEDENCIA:	BANCO MINERO-HUALGAYOC		
CODIGO MUESTRA:	P6		
FECHA:	07/04/2013		
			UNIDAD
I)	ANÁLISIS ORGANOLEPTICO		
	COLOR	MARRON CLARO	
	OLOR	INODORO	
	SEDIMENTOS	NULO	
II)	ANÁLISIS FISICO		
	TEMPERATURA	16.8	°C
	PH	1.8	
	SOLIDOS TOTALES	316	ppm
	SOLIDOS DISUELTOS	186	ppm
	SOLIDOS SUSPENSION	130	ppm
III)	ANÁLISIS QUIMICO		
	ALCALINIDAD	22.4	ppm CaCO3
	CLORUROS	80.9	ppm CL A 1-
	DUREZA TOTAL	320	ppm CaCO3
	DUREZA CALCICA	192	ppm CaCO3
	DUREZA MAGNESICA	128	ppm CaCO3
	MATERIA ORGANICA	0.838	ppm O2
	SULFATOS	162	(SO4)A 2-
	HIERRO	0.62	mg Fe/l
	ZINC	2.83	mg Zn / l
	PLOMO	0.05	mg Pb/l
CONCLUSION	ES UNA MUESTRA QUE CONTIENE UN PH COMPLETAMENTE ÁCIDO, LO QUE INDICA QUE DEBE TENER UNA ALTA CONCENTRACION DE IONES HIDROGENIONES Y DE METALES.		
NOTA	LA MUESTRA FUE ALCANZADA A ESTE LABORATORIO PARA SU ANÁLISIS RESPECTIVO		
REPRESENTANTE DEL LABORATORIO	 ING. HUGO MOSQUEIRA ESTRAVER		

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE MINERALES - UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA			
ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE UNA MUESTRA DE AGUA			
SOLICITA:	SAMUEL DÍAZ GÁLVEZ		
TESIS:	EFICIENCIA DE LAS ESTRUCTURAS CONSTRUIDAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA EN EL CIERRE DE ACTIVIDADES EN LA MINA BANCO MINERO Y TAHONA-HUALGAYOC-CAJAMARCA		
PROCEDENCIA:	BANCO MINERO-HUALGAYOC		
CODIGO MUESTRA:	M1		
FECHA:	07/11/2013		
			UNIDAD
I )	ANÁLISIS ORGANOLEPTICO		
	COLOR	INCOLORO	
	OLOR	INODORO	
	SEDIMENTOS	NULO	
II )	ANÁLISIS FÍSICO		
	TEMPERATURA	17	°C
	PH	2.01	
	SOLIDOS TOTALES	410	ppm
	SOLIDOS DISUELTOS	230	ppm
	SOLIDOS SUSPENSION	180	ppm
III )	ANÁLISIS QUÍMICO		
	ALCALINIDAD	12.4	ppm CaCO <sub>3</sub>
	CLORUROS	29.6	ppm CL Λ 1-
	DUREZA TOTAL	210	ppm CaCO <sub>3</sub>
	DUREZA CALCICA	120	ppm CaCO <sub>3</sub>
	DUREZA MAGNESICA	90	ppm CaCO <sub>3</sub>
	MATERIA ORGANICA	0.6	ppm O <sub>2</sub>
	SULFATOS	130	(SO <sub>4</sub> )Λ 2-
	HIERRO	0.5	mg Fe/l
	ZINC	2.8	mg Zn / l
	PLOMO	0.02	mg Pb/l
CONCLUSION	ES UNA MUESTRA QUE CONTIENE UN PH COMPLETAMENTE ÁCIDO, LO QUE INDICA QUE DEBE TENER UNA ALTA CONCENTRACION DE IONES HIDROGENIONES Y DE METALES.		
NOTA	LA MUESTRA FUE ALCANZADA A ESTE LABORATORIO PARA SU ANÁLISIS RESPECTIVO		
REPRESENTANTE DEL LABORATORIO	 ING. HUGO MOSQUEIRA ESTRAYER		

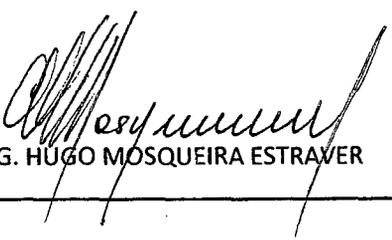
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE MINERALES - UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA			
ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE UNA MUESTRA DE AGUA			
SOLICITA:	SAMUEL DÍAZ GÁLVEZ		
TESIS:	EFICIENCIA DE LAS ESTRUCTURAS CONSTRUIDAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA EN EL CIERRE DE ACTIVIDADES EN LA MINA BANCO MINERO Y TAHONA-HUALGAYOC-CAJAMARCA		
PROCEDENCIA:	BANCO MINERO-HUALGAYOC		
CODIGO MUESTRA:	M7		
FECHA:	07/01/2014		
			UNIDAD
I)	ANÁLISIS ORGANOLEPTICO		
	COLOR	INCOLORO	
	OLOR	INODORO	
	SEDIMENTOS	NULO	
II)	ANÁLISIS FISICO		
	TEMPERATURA	18.3	°C
	PH	5.4	
	SOLIDOS TOTALES	252	ppm
	SOLIDOS DISUELTOS	160	ppm
	SOLIDOS SUSPENSION	92	ppm
III)	ANÁLISIS QUIMICO		
	ALCALINIDAD	14.8	ppm CaCO3
	CLORUROS	88.6	ppm CL A 1-
	DUREZA TOTAL	245	ppm CaCO3
	DUREZA CALCICA	160	ppm CaCO3
	DUREZA MAGNESICA	85	ppm CaCO3
	MATERIA ORGANICA	0.38	ppm O2
	SULFATOS	97.4	(SO4)A 2-
	HIERRO	0.4	mg Fe/l
	ZINC	2.5	mg Zn / l
	PLOMO	0.024	mg Pb/l
CONCLUSION	ES UNA MUESTRA QUE CONTIENE UN PH COMPLETAMENTE ÁCIDO, LO QUE INDICA QUE DEBE TENER UNA ALTA CONCENTRACION DE IONES HIDROGENIONES Y DE METALES.		
NOTA	LA MUESTRA FUE ALCANZADA A ESTE LABORATORIO PARA SU ANALISIS RESPECTIVO		
REPRESENTANTE DEL LABORATORIO	 ING. HUGO MOSQUEIRA ESTRAVER		

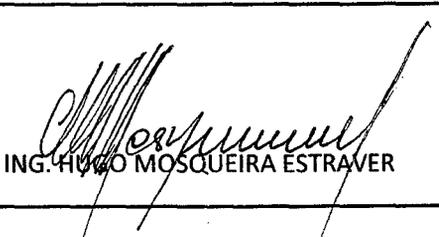
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE MINERALES - UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA			
ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE UNA MUESTRA DE AGUA			
SOLICITA:	SAMUEL DÍAZ GÁLVEZ		
TESIS:	EFICIENCIA DE LAS ESTRUCTURAS CONSTRUIDAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA EN EL CIERRE DE ACTIVIDADES EN LA MINA BANCO MINERO Y TAHONA-HUALGAYOC-CAJAMARCA		
PROCEDENCIA:	BANCO MINERO-HUALGAYOC		
CODIGO MUESTRA:	M13		
FECHA:	07/03/2014		
			UNIDAD
I)	ANÁLISIS ORGANOLEPTICO		
	COLOR	INCOLORO	
	OLOR	INODORO	
	SEDIMENTOS	NULO	
II)	ANÁLISIS FISICO		
	TEMPERATURA	20	°C
	PH	5.04	
	SOLIDOS TOTALES	220	ppm
	SOLIDOS DISUELTOS	160	ppm
	SOLIDOS SUSPENSION	60	ppm
III)	ANÁLISIS QUIMICO		
	ALCALINIDAD	54.6	ppm CaCO3
	CLORUROS	50.3	ppm CL A 1-
	DUREZA TOTAL	228	ppm CaCO3
	DUREZA CALCICA	168	ppm CaCO3
	DUREZA MAGNESICA	60	ppm CaCO3
	MATERIA ORGANICA	0.4	ppm O2
	SULFATOS	80.4	(SO4)A 2-
	HIERRO	0.3	mg Fe/l
	ZINC	1.02	mg Zn / l
	PLOMO	0.01	mg Pb/l
CONCLUSION	ES UNA MUESTRA QUE CONTIENE UN PH COMPLETAMENTE ÁCIDO, LO QUE INDICA QUE DEBE TENER UNA ALTA CONCENTRACION DE IONES HIDROGENIONES Y DE METALES.		
NOTA	LA MUESTRA FUE ALCANZADA A ESTE LABORATORIO PARA SU ANÁLISIS RESPECTIVO		
REPRESENTANTE DEL LABORATORIO	 ING. HUGO MOSQUEIRA ESTRAVER		

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE MINERALES - UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA			
ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE UNA MUESTRA DE AGUA			
SOLICITA:	SAMUEL DÍAZ GÁLVEZ		
TESIS:	EFICIENCIA DE LAS ESTRUCTURAS CONSTRUIDAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA EN EL CIERRE DE ACTIVIDADES EN LA MINA BANCO MINERO Y TAHONA-HUALGAYOC-CAJAMARCA		
PROCEDENCIA:	BANCO MINERO-HUALGAYOC		
CODIGO MUESTRA:	M2		
FECHA:	07/11/2013		
			UNIDAD
I)	ANÁLISIS ORGANOLEPTICO		
	COLOR	MARRON CLARO	
	OLOR	INODORO	
	SEDIMENTOS	PRESENCIA	
II)	ANÁLISIS FÍSICO		
	TEMPERATURA	17.8	°C
	PH	1.7	
	SOLIDOS TOTALES	240	ppm
	SOLIDOS DISUELTOS	140	ppm
	SOLIDOS SUSPENSION	100	ppm
III)	ANÁLISIS QUIMICO		
	ALCALINIDAD	19.4	ppm CaCO3
	CLORUROS	59.4	ppm CL A 1-
	DUREZA TOTAL	230	ppm CaCO3
	DUREZA CALCICA	120	ppm CaCO3
	DUREZA MAGNESICA	110	ppm CaCO3
	MATERIA ORGANICA	0.3	ppm O2
	SULFATOS	108.4	(SO4) A 2-
	HIERRO	0.8	mg Fe/l
	ZINC	3.2	mg Zn / l
	PLOMO	0.03	mg Pb/l
CONCLUSION	ES UNA MUESTRA QUE CONTIENE UN PH COMPLETAMENTE ÁCIDO, LO QUE INDICA QUE DEBE TENER UNA ALTA CONCENTRACION DE IONES HIDROGENIONES Y DE METALES.		
NOTA	LA MUESTRA FUE ALCANZADA A ESTE LABORATORIO PARA SU ANALISIS RESPECTIVO		
REPRESENTANTE DEL LABORATORIO	 ING. HUGO MOSQUEIRA ESTRAVER		

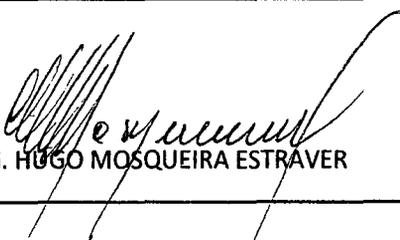
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE MINERALES - UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA			
ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE UNA MUESTRA DE AGUA			
SOLICITA:	SAMUEL DÍAZ GÁLVEZ		
TESIS:	EFICIENCIA DE LAS ESTRUCTURAS CONSTRUIDAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA EN EL CIERRE DE ACTIVIDADES EN LA MINA BANCO MINERO Y TAHONA-HUALGAYOC-CAJAMARCA		
PROCEDENCIA:	BANCO MINERO-HUALGAYOC		
CODIGO MUESTRA:	M8		
FECHA:	07/01/2014		
			UNIDAD
I)	ANÁLISIS ORGANOLEPTICO		
	COLOR	INCOLORO	
	OLOR	INODORO	
	SEDIMENTOS	PRESENCIA	
II)	ANÁLISIS FÍSICO		
	TEMPERATURA	17.3	°C
	PH	2.36	
	SOLIDOS TOTALES	282	ppm
	SOLIDOS DISUELTOS	151	ppm
	SOLIDOS SUSPENSION	131	ppm
III)	ANÁLISIS QUIMICO		
	ALCALINIDAD	13.6	ppm CaCO3
	CLORUROS	84.4	ppm CL Λ 1-
	DUREZA TOTAL	270	ppm CaCO3
	DUREZA CALCICA	150	ppm CaCO3
	DUREZA MAGNESICA	120	ppm CaCO3
	MATERIA ORGANICA	0.31	ppm O2
	SULFATOS	96.8	(SO4)Λ 2-
	HIERRO	0.74	mg Fe/l
	ZINC	2.1	mg Zn / l
	PLOMO	0.018	mg Pb/l
CONCLUSION	ES UNA MUESTRA QUE CONTIENE UN PH COMPLETAMENTE ÁCIDO, LO QUE INDICA QUE DEBE TENER UNA ALTA CONCENTRACION DE IONES HIDROGENIONES Y DE METALES.		
NOTA	LA MUESTRA FUE ALCANZADA A ESTE LABORATORIO PARA SU ANALISIS RESPECTIVO		
REPRESENTANTE DEL LABORATORIO	 ING. HUGO MOSQUEIRA ESTRAVER		

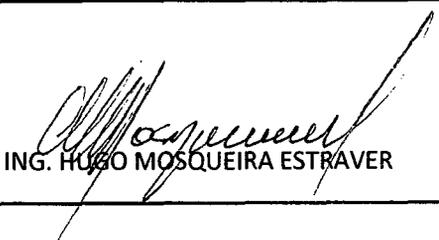
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE MINERALES - UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA			
ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE UNA MUESTRA DE AGUA			
SOLICITA:	SAMUEL DÍAZ GÁLVEZ		
TESIS:	EFICIENCIA DE LAS ESTRUCTURAS CONSTRUIDAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA EN EL CIERRE DE ACTIVIDADES EN LA MINA BANCO MINERO Y TAHONA-HUALGAYOC-CAJAMARCA		
PROCEDENCIA:	BANCO MINERO-HUALGAYOC		
CODIGO MUESTRA:	M14		
FECHA:	07/03/2014		
			UNIDAD
I )	ANÁLISIS ORGANOLEPTICO		
	COLOR	INCOLORO	
	OLOR	INODORO	
	SEDIMENTOS	NULO	
II )	ANÁLISIS FÍSICO		
	TEMPERATURA	20	°C
	PH	2.22	
	SOLIDOS TOTALES	320	ppm
	SOLIDOS DISUELTOS	190	ppm
	SOLIDOS SUSPENSION	130	ppm
III )	ANÁLISIS QUIMICO		
	ALCALINIDAD	6.8	ppm CaCO3
	CLORUROS	68.4	ppm CL Λ 1-
	DUREZA TOTAL	300	ppm CaCO3
	DUREZA CALCICA	180	ppm CaCO3
	DUREZA MAGNESICA	120	ppm CaCO3
	MATERIA ORGANICA	0.5	ppm O2
	SULFATOS	165	(SO4)Λ 2-
	HIERRO	0.6	mg Fe/l
	ZINC	2.6	mg Zn / l
	PLOMO	0.03	mg Pb/l
CONCLUSION	ES UNA MUESTRA QUE CONTIENE UN PH COMPLETAMENTE ÁCIDO, LO QUE INDICA QUE DEBE TENER UNA ALTA CONCENTRACION DE IONES HIDROGENIONES Y DE METALES.		
NOTA	LA MUESTRA FUE ALCANZADA A ESTE LABORATORIO PARA SU ANALISIS RESPECTIVO		
REPRESENTANTE DEL LABORATORIO	 ING. HUGO MOSQUEIRA ESTRAVER		

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE MINERALES - UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA			
ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE UNA MUESTRA DE AGUA			
SOLICITA:	SAMUEL DÍAZ GÁLVEZ		
TESIS:	EFICIENCIA DE LAS ESTRUCTURAS CONSTRUIDAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA EN EL CIERRE DE ACTIVIDADES EN LA MINA BANCO MINERO Y TAHONA-HUALGAYOC-CAJAMARCA		
PROCEDENCIA:	BANCO MINERO-HUALGAYOC		
CODIGO MUESTRA:	M3		
FECHA:	07/11/2013		
			UNIDAD
I)	ANÁLISIS ORGANOLEPTICO		
	COLOR	INCOLORO	
	OLOR	INODORO	
	SEDIMENTOS	PRESENCIA	
II)	ANÁLISIS FÍSICO		
	TEMPERATURA	18.5	°C
	PH	1.94	
	SOLIDOS TOTALES	272	ppm
	SOLIDOS DISUÉLTOS	150	ppm
	SOLIDOS SUSPENSION	122	ppm
III)	ANÁLISIS QUIMICO		
	ALCALINIDAD	29.6	ppm CaCO <sub>3</sub>
	CLORUROS	84.6	ppm CL Λ 1-
	DUREZA TOTAL	250	ppm CaCO <sub>3</sub>
	DUREZA CALCICA	150	ppm CaCO <sub>3</sub>
	DUREZA MAGNESICA	100	ppm CaCO <sub>3</sub>
	MATERIA ORGANICA	0.32	ppm O <sub>2</sub>
	SULFATOS	99.6	(SO <sub>4</sub> )Λ 2-
	HIERRO	0.42	mg Fe/l
	ZINC	2.8	mg Zn / l
	PLOMO	0.04	mg Pb/l
CONCLUSION	ES UNA MUESTRA QUE CONTIENE UN PH COMPLETAMENTE ÁCIDO, LO QUE INDICA QUE DEBE TENER UNA ALTA CONCENTRACION DE IONES HIDROGENIONES Y DE METALES.		
NOTA	LA MUESTRA FUE ALCANZADA A ESTE LABORATORIO PARA SU ANALISIS RESPECTIVO		
REPRESENTANTE DEL LABORATORIO	 ING. HUGO MOSQUEIRA ESTRAVER		

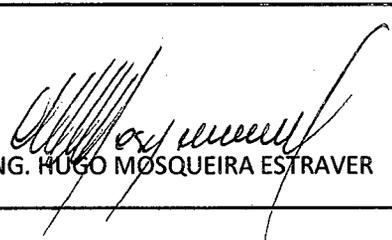
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE MINERALES - UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA			
ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE UNA MUESTRA DE AGUA			
SOLICITA:	SAMUEL DÍAZ GÁLVEZ		
TESIS:	EFICIENCIA DE LAS ESTRUCTURAS CONSTRUIDAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA EN EL CIERRE DE ACTIVIDADES EN LA MINA BANCO MINERO Y TAHONA-HUALGAYOC-CAJAMARCA		
PROCEDENCIA:	BANCO MINERO-HUALGAYOC		
CODIGO MUESTRA:	M9		
FECHA:	07/01/2014		
			UNIDAD
I)	ANÁLISIS ORGANOLEPTICO		
	COLOR	INCOLORO	
	OLOR	INODORO	
	SEDIMENTOS	PRESENCIA	
II)	ANÁLISIS FISICO		
	TEMPERATURA	18.5	°C
	PH	5.4	
	SOLIDOS TOTALES	248	ppm
	SOLIDOS DISUELTOS	154	ppm
	SOLIDOS SUSPENSION	94	ppm
III)	ANÁLISIS QUIMICO		
	ALCALINIDAD	12.6	ppm CaCO3
	CLORUROS	89.4	ppm CL A 1-
	DUREZA TOTAL	220	ppm CaCO3
	DUREZA CALCICA	130	ppm CaCO3
	DUREZA MAGNESICA	90	ppm CaCO3
	MATERIA ORGANICA	0.5	ppm O2
	SULFATOS	97.8	(SO4)Λ 2-
	HIERRO	0.61	mg Fe/l
	ZINC	2.6	mg Zn / l
	PLOMO	0.05	mg Pb/l
CONCLUSION	ES UNA MUESTRA QUE CONTIENE UN PH COMPLETAMENTE ÁCIDO, LO QUE INDICA QUE DEBE TENER UNA ALTA CONCENTRACION DE IONES HIDROGENIONES Y DE METALES.		
NOTA	LA MUESTRA FUE ALCANZADA A ESTE LABORATORIO PARA SU ANÁLISIS RESPECTIVO		
REPRESENTANTE DEL LABORATORIO	 ING. HUGO MOSQUEIRA ESTRAYER		

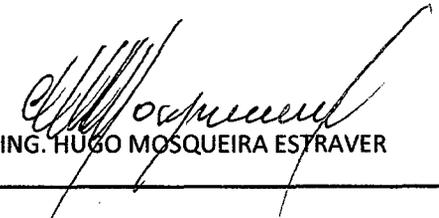
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE MINERALES - UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA			
ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE UNA MUESTRA DE AGUA			
SOLICITA:	SAMUEL DÍAZ GÁLVEZ		
TESIS:	EFICIENCIA DE LAS ESTRUCTURAS CONSTRUIDAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA EN EL CIERRE DE ACTIVIDADES EN LA MINA BANCO MINERO Y TAHONA-HUALGAYOC-CAJAMARCA		
PROCEDENCIA:	BANCO MINERO-HUALGAYOC		
CODIGO MUESTRA:	M15		
FECHA:	07/03/2014		
			UNIDAD
I)	ANÁLISIS ORGANOLEPTICO		
	COLOR	INCOLORO	
	OLOR	INODORO	
	SEDIMENTOS	NULO	
II)	ANÁLISIS FÍSICO		
	TEMPERATURA	20	°C
	PH	2.44	
	SOLIDOS TOTALES	330	ppm
	SOLIDOS DISUELTOS	182	ppm
	SOLIDOS SUSPENSION	148	ppm
III)	ANÁLISIS QUÍMICO		
	ALCALINIDAD	7.8	ppm CaCO <sub>3</sub>
	CLORUROS	63.3	ppm CL A 1-
	DUREZA TOTAL	290	ppm CaCO <sub>3</sub>
	DUREZA CALCICA	150	ppm CaCO <sub>3</sub>
	DUREZA MAGNESICA	140	ppm CaCO <sub>3</sub>
	MATERIA ORGANICA	0.51	ppm O <sub>2</sub>
	SULFATOS	162	(SO <sub>4</sub> )A 2-
	HIERRO	0.58	mg Fe/l
	ZINC	2.82	mg Zn / l
	PLOMO	0.04	mg Pb/l
CONCLUSION	ES UNA MUESTRA QUE CONTIENE UN PH COMPLETAMENTE ÁCIDO, LO QUE INDICA QUE DEBE TENER UNA ALTA CONCENTRACION DE IONES HIDROGENIONES Y DE METALES.		
NOTA	LA MUESTRA FUE ALCANZADA A ESTE LABORATORIO PARA SU ANALISIS RESPECTIVO		
REPRESENTANTE DEL LABORATORIO	 ING. HUGO MOSQUEIRA ESTRAVER		

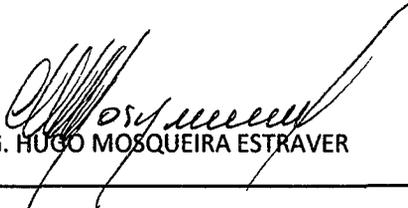
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE MINERALES - UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA			
ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE UNA MUESTRA DE AGUA			
SOLICITA:	SAMUEL DÍAZ GÁLVEZ		
TESIS:	EFICIENCIA DE LAS ESTRUCTURAS CONSTRUIDAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA EN EL CIERRE DE ACTIVIDADES EN LA MINA BANCO MINERO Y TAHONA-HUALGAYOC-CAJAMARCA		
PROCEDENCIA:	BANCO MINERO-HUALGAYOC		
CODIGO MUESTRA:	M4		
FECHA:	07/11/2013		
			UNIDAD
I)	ANÁLISIS ORGANOLEPTICO		
	COLOR	INCOLORO	
	OLOR	INODORO	
	SEDIMENTOS	NULO	
II)	ANÁLISIS FISICO		
	TEMPERATURA	18.5	°C
	PH	1.87	
	SOLIDOS TOTALES	230	ppm
	SOLIDOS DISUELTOS	140	ppm
	SOLIDOS SUSPENSION	90	ppm
III)	ANÁLISIS QUIMICO		
	ALCALINIDAD	16.4	ppm CaCO <sub>3</sub>
	CLORUROS	62.4	ppm Cl Λ 1-
	DUREZA TOTAL	215	ppm CaCO <sub>3</sub>
	DUREZA CALCICA	130	ppm CaCO <sub>3</sub>
	DUREZA MAGNESICA	85	ppm CaCO <sub>3</sub>
	MATERIA ORGANICA	0.32	ppm O <sub>2</sub>
	SULFATOS	97.8	(SO <sub>4</sub> )Λ 2-
	HIERRO	0.4	mg Fe/l
	ZINC	1.8	mg Zn / l
	PLOMO	0.06	mg Pb/l
CONCLUSION	ES UNA MUESTRA QUE CONTIENE UN PH COMPLETAMENTE ÁCIDO, LO QUE INDICA QUE DEBE TENER UNA ALTA CONCENTRACION DE IONES HIDROGENIONES Y DE METALES.		
NOTA	LA MUESTRA FUE ALCANZADA A ESTE LABORATORIO PARA SU ANÁLISIS RESPECTIVO		
REPRESENTANTE DEL LABORATORIO	 ING. HUGO MOSQUEIRA ESTRAVER		

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE MINERALES - UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA			
ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE UNA MUESTRA DE AGUA			
SOLICITA:	SAMUEL DÍAZ GÁLVEZ		
TESIS:	EFICIENCIA DE LAS ESTRUCTURAS CONSTRUIDAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA EN EL CIERRE DE ACTIVIDADES EN LA MINA BANCO MINERO Y TAHONA-HUALGAYOC-CAJAMARCA		
PROCEDENCIA:	BANCO MINERO-HUALGAYOC		
CODIGO MUESTRA:	M10		
FECHA:	07/01/2014		
			UNIDAD
I)	ANÁLISIS ORGANOLEPTICO		
	COLOR	INCOLORO	
	OLOR	INODORO	
	SEDIMENTOS	NULO	
II)	ANÁLISIS FISICO		
	TEMPERATURA	17	°C
	PH	1.85	
	SOLIDOS TOTALES	264	ppm
	SOLIDOS DISUELTOS	142	ppm
	SOLIDOS SUSPENSION	122	ppm
III)	ANÁLISIS QUIMICO		
	ALCALINIDAD	24.6	ppm CaCO3
	CLORUROS	80.4	ppm CL A 1-
	DUREZA TOTAL	220	ppm CaCO3
	DUREZA CALCICA	154	ppm CaCO3
	DUREZA MAGNESICA	66	ppm CaCO3
	MATERIA ORGANICA	0.35	ppm O2
	SULFATOS	91	(SO4)Λ 2-
	HIERRO	0.59	mg Fe/l
	ZINC	2.4	mg Zn / l
	PLOMO	0.014	mg Pb/l
CONCLUSION	ES UNA MUESTRA QUE CONTIENE UN PH COMPLETAMENTE ÁCIDO, LO QUE INDICA QUE DEBE TENER UNA ALTA CONCENTRACION DE IONES HIDROGENIONES Y DE METALES.		
NOTA	LA MUESTRA FUE ALCANZADA A ESTE LABORATORIO PARA SU ANÁLISIS RESPECTIVO		
REPRESENTANTE DEL LABORATORIO	 ING. HUGO MOSQUEIRA ESTRAVER		

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE MINERALES - UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA			
ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE UNA MUESTRA DE AGUA			
SOLICITA:	SAMUEL DÍAZ GÁLVEZ		
TESIS:	EFICIENCIA DE LAS ESTRUCTURAS CONSTRUIDAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA EN EL CIERRE DE ACTIVIDADES EN LA MINA BANCO MINERO Y TAHONA-HUALGAYOC-CAJAMARCA		
PROCEDENCIA:	BANCO MINERO-HUALGAYOC		
CODIGO MUESTRA:	M16		
FECHA:	07/03/2014		
			UNIDAD
I)	ANÁLISIS ORGANOLEPTICO		
	COLOR	INCOLORO	
	OLOR	INODORO	
	SEDIMENTOS	NULO	
II)	ANÁLISIS FÍSICO		
	TEMPERATURA	19	°C
	PH	2.14	
	SOLIDOS TOTALES	310	ppm
	SOLIDOS DISUELTOS	190	ppm
	SOLIDOS SUSPENSION	120	ppm
III)	ANÁLISIS QUÍMICO		
	ALCALINIDAD	8.8	ppm CaCO <sub>3</sub>
	CLORUROS	61.6	ppm CL A 1-
	DUREZA TOTAL	284	ppm CaCO <sub>3</sub>
	DUREZA CALCICA	149	ppm CaCO <sub>3</sub>
	DUREZA MAGNESICA	135	ppm CaCO <sub>3</sub>
	MATERIA ORGANICA	0.51	ppm O <sub>2</sub>
	SULFATOS	162	(SO <sub>4</sub> )Λ 2-
	HIERRO	0.6	mg Fe/l
	ZINC	2.73	mg Zn / l
	PLOMO	0.03	mg Pb/l
CONCLUSION	ES UNA MUESTRA QUE CONTIENE UN PH COMPLETAMENTE ÁCIDO, LO QUE INDICA QUE DEBE TENER UNA ALTA CONCENTRACION DE IONES HIDROGENIONES Y DE METALES.		
NOTA	LA MUESTRA FUE ALCANZADA A ESTE LABORATORIO PARA SU ANÁLISIS RESPECTIVO		
REPRESENTANTE DEL LABORATORIO	 ING. HUGO MOSQUEIRA ESTRAVER		

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE MINERALES - UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA			
ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE UNA MUESTRA DE AGUA			
SOLICITA:	SAMUEL DÍAZ GÁLVEZ		
TESIS:	EFICIENCIA DE LAS ESTRUCTURAS CONSTRUIDAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA EN EL CIERRE DE ACTIVIDADES EN LA MINA BANCO MINERO Y TAHONA-HUALGAYOC-CAJAMARCA		
PROCEDENCIA:	BANCO MINERO-HUALGAYOC		
CODIGO MUESTRA:	M5		
FECHA:	07/11/2013		
			UNIDAD
I)	ANÁLISIS ORGANOLEPTICO		
	COLOR	INCOLORO	
	OLOR	INODORO	
	SEDIMENTOS	NULO	
II)	ANÁLISIS FISICO		
	TEMPERATURA	18	°C
	PH	1.88	
	SOLIDOS TOTALES	260	ppm
	SOLIDOS DISUELTOS	150	ppm
	SOLIDOS SUSPENSION	110	ppm
III)	ANÁLISIS QUIMICO		
	ALCALINIDAD	23.6	ppm CaCO3
	CLORUROS	79.6	ppm Cl A 1-
	DUREZA TOTAL	220	ppm CaCO3
	DUREZA CALCICA	130	ppm CaCO3
	DUREZA MAGNESICA	90	ppm CaCO3
	MATERIA ORGANICA	0.36	ppm O2
	SULFATOS	99.8	(SO4)A 2-
	HIERRO	0.18	mg Fe/l
	ZINC	1.3	mg Zn / l
	PLOMO	0.03	mg Pb/l
CONCLUSION	ES UNA MUESTRA QUE CONTIENE UN PH COMPLETAMENTE ÁCIDO, LO QUE INDICA QUE DEBE TENER UNA ALTA CONCENTRACION DE IONES HIDROGENIONES Y DE METALES.		
NOTA	LA MUESTRA FUE ALCANZADA A ESTE LABORATORIO PARA SU ANALISIS RESPECTIVO		
REPRESENTANTE DEL LABORATORIO	 ING. HUGO MOSQUEIRA ESTRAVER		

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE MINERALES - UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA			
ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE UNA MUESTRA DE AGUA			
SOLICITA:	SAMUEL DÍAZ GÁLVEZ		
TESIS:	EFICIENCIA DE LAS ESTRUCTURAS CONSTRUIDAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA EN EL CIERRE DE ACTIVIDADES EN LA MINA BANCO MINERO Y TAHONA-HUALGAYOC-CAJAMARCA		
PROCEDENCIA:	BANCO MINERO-HUALGAYOC		
CODIGO MUESTRA:	M11		
FECHA:	07/01/2014		
			UNIDAD
I )	ANÁLISIS ORGANOLEPTICO		
	COLOR	INCOLORO	
	OLOR	INODORO	
	SEDIMENTOS	NULO	
II )	ANÁLISIS FISICO		
	TEMPERATURA	17	°C
	PH	1.8	
	SOLIDOS TOTALES	260	ppm
	SOLIDOS DISUELTOS	150	ppm
	SOLIDOS SUSPENSION	110	ppm
III )	ANÁLISIS QUIMICO		
	ALCALINIDAD	19.7	ppm CaCO3
	CLORUROS	79.7	ppm CL A 1-
	DUREZA TOTAL	230	ppm CaCO3
	DUREZA CALCICA	120	ppm CaCO3
	DUREZA MAGNESICA	110	ppm CaCO3
	MATERIA ORGANICA	0.29	ppm O2
	SULFATOS	92.4	(SO4)A 2-
	HIERRO	0.54	mg Fe/l
	ZINC	2.3	mg Zn / l
	PLOMO	0.015	mg Pb/l
CONCLUSION	ES UNA MUESTRA QUE CONTIENE UN PH COMPLETAMENTE ÁCIDO, LO QUE INDICA QUE DEBE TENER UNA ALTA CONCENTRACION DE IONES HIDROGENIONES Y DE METALES.		
NOTA	LA MUESTRA FUE ALCANZADA A ESTE LABORATORIO PARA SU ANÁLISIS RESPECTIVO		
REPRESENTANTE DEL LABORATORIO	 ING. HUGO MOSQUEIRA ESTRAVER		

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE MINERALES - UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA			
ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE UNA MUESTRA DE AGUA			
SOLICITA:	SAMUEL DÍAZ GÁLVEZ		
TESIS:	EFICIENCIA DE LAS ESTRUCTURAS CONSTRUIDAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA EN EL CIERRE DE ACTIVIDADES EN LA MINA BANCO MINERO Y TAHONA-HUALGAYOC-CAJAMARCA		
PROCEDENCIA:	BANCO MINERO-HUALGAYOC		
CODIGO MUESTRA:	M17		
FECHA:	07/03/2014		
			UNIDAD
I)	ANÁLISIS ORGANOLEPTICO		
	COLOR	INCOLORO	
	OLOR	INODORO	
	SEDIMENTOS	NULO	
II)	ANÁLISIS FISICO		
	TEMPERATURA	18	°C
	PH	3.85	
	SOLIDOS TOTALES	420	ppm
	SOLIDOS DISUELTOS	240	ppm
	SOLIDOS SUSPENSION	180	ppm
III)	ANÁLISIS QUIMICO		
	ALCALINIDAD	11.8	ppm CaCO3
	CLORUROS	58.4	ppm CL A 1-
	DUREZA TOTAL	280	ppm CaCO3
	DUREZA CALCICA	160	ppm CaCO3
	DUREZA MAGNESICA	120	ppm CaCO3
	MATERIA ORGANICA	0.4	ppm O2
	SULFATOS	140	(SO4)A 2-
	HIERRO	0.61	mg Fe/l
	ZINC	2.9	mg Zn / l
	PLOMO	0.03	mg Pb/l
CONCLUSION	ES UNA MUESTRA QUE CONTIENE UN PH COMPLETAMENTE ÁCIDO, LO QUE INDICA QUE DEBE TENER UNA ALTA CONCENTRACION DE IONES HIDROGENIONES Y DE METALES.		
NOTA	LA MUESTRA FUE ALCANZADA A ESTE LABORATORIO PARA SU ANALISIS RESPECTIVO		
REPRESENTANTE DEL LABORATORIO	 ING. HUGO MOSQUEIRA ESTRAVER		

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE MINERALES - UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA			
ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE UNA MUESTRA DE AGUA			
SOLICITA:	SAMUEL DÍAZ GÁLVEZ		
TESIS:	EFICIENCIA DE LAS ESTRUCTURAS CONSTRUIDAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA EN EL CIERRE DE ACTIVIDADES EN LA MINA BANCO MINERO Y TAHONA-HUALGAYOC-CAJAMARCA		
PROCEDENCIA:	BANCO MINERO-HUALGAYOC		
CODIGO MUESTRA:	M6		
FECHA:	07/11/2013		
			UNIDAD
I)	ANÁLISIS ORGANOLEPTICO		
	COLOR	INCOLORO	
	OLOR	INODORO	
	SEDIMENTOS	NULO	
II)	ANÁLISIS FÍSICO		
	TEMPERATURA	17.8	°C
	PH	5.2	
	SOLIDOS TOTALES	182	ppm
	SOLIDOS DISUELTOS	110	ppm
	SOLIDOS SUSPENSION	72	ppm
III)	ANÁLISIS QUÍMICO		
	ALCALINIDAD	12.6	ppm CaCO <sub>3</sub>
	CLORUROS	80.6	ppm CL A 1-
	DUREZA TOTAL	293	ppm CaCO <sub>3</sub>
	DUREZA CALCICA	188	ppm CaCO <sub>3</sub>
	DUREZA MAGNESICA	105	ppm CaCO <sub>3</sub>
	MATERIA ORGANICA	0.83	ppm O <sub>2</sub>
	SULFATOS	98.3	(SO <sub>4</sub> ) A 2-
	HIERRO	0.6	mg Fe/l
	ZINC	2.6	mg Zn / l
	PLOMO	0.04	mg Pb/l
CONCLUSION	ES UNA MUESTRA QUE CONTIENE UN PH COMPLETAMENTE ÁCIDO, LO QUE INDICA QUE DEBE TENER UNA ALTA CONCENTRACION DE IONES HIDROGENIONES Y DE METALES.		
NOTA	LA MUESTRA FUE ALCANZADA A ESTE LABORATORIO PARA SU ANÁLISIS RESPECTIVO		
REPRESENTANTE DEL LABORATORIO	 ING. HUGO MOSQUEIRA ESTRAVER		

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE MINERALES - UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA			
ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE UNA MUESTRA DE AGUA			
SOLICITA:	SAMUEL DÍAZ GÁLVEZ		
TESIS:	EFICIENCIA DE LAS ESTRUCTURAS CONSTRUIDAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA EN EL CIERRE DE ACTIVIDADES EN LA MINA BANCO MINERO Y TAHONA-HUALGAYOC-CAJAMARCA		
PROCEDENCIA:	BANCO MINERO-HUALGAYOC		
CODIGO MUESTRA:	M12		
FECHA:	07/01/2014		
			UNIDAD
I )	ANÁLISIS ORGANOLEPTICO		
	COLOR	INCOLORO	
	OLOR	INODORO	
	SEDIMENTOS	NULO	
II )	ANÁLISIS FISICO		
	TEMPERATURA	17	°C
	PH	1.99	
	SOLIDOS TOTALES	256	ppm
	SOLIDOS DISUELTOS	130	ppm
	SOLIDOS SUSPENSION	126	ppm
III )	ANÁLISIS QUIMICO		
	ALCALINIDAD	21.2	ppm CaCO <sub>3</sub>
	CLORUROS	12.4	ppm CL $\wedge$ 1-
	DUREZA TOTAL	242	ppm CaCO <sub>3</sub>
	DUREZA CALCICA	134	ppm CaCO <sub>3</sub>
	DUREZA MAGNESICA	108	ppm CaCO <sub>3</sub>
	MATERIA ORGANICA	0.3	ppm O <sub>2</sub>
	SULFATOS	92	(SO <sub>4</sub> ) $\wedge$ 2-
	HIERRO	0.38	mg Fe/l
	ZINC	2.4	mg Zn / l
	PLOMO	0.014	mg Pb/l
CONCLUSION	ES UNA MUESTRA QUE CONTIENE UN PH COMPLETAMENTE ÁCIDO, LO QUE INDICA QUE DEBE TENER UNA ALTA CONCENTRACION DE IONES HIDROGENIONES Y DE METALES.		
NOTA	LA MUESTRA FUE ALCANZADA A ESTE LABORATORIO PARA SU ANÁLISIS RESPECTIVO		
REPRESENTANTE DEL LABORATORIO	 ING. HUGO MOSQUEIRA ESTRAVER		

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE MINERALES - UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA			
ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE UNA MUESTRA DE AGUA			
SOLICITA:	SAMUEL DÍAZ GÁLVEZ		
TESIS:	EFICIENCIA DE LAS ESTRUCTURAS CONSTRUIDAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA EN EL CIERRE DE ACTIVIDADES EN LA MINA BANCO MINERO Y TAHONA-HUALGAYOC-CAJAMARCA		
PROCEDENCIA:	BANCO MINERO-HUALGAYOC		
CODIGO MUESTRA:	M18		
FECHA:	07/03/2014		
			UNIDAD
I)	ANÁLISIS ORGANOLEPTICO		
	COLOR	INCOLORO	
	OLOR	INODORO	
	SEDIMENTOS	NULO	
II)	ANÁLISIS FÍSICO		
	TEMPERATURA	19	°C
	PH	2.54	
	SOLIDOS TOTALES	290	ppm
	SOLIDOS DISUELTOS	180	ppm
	SOLIDOS SUSPENSION	110	ppm
III)	ANÁLISIS QUÍMICO		
	ALCALINIDAD	9.6	ppm CaCO <sub>3</sub>
	CLORUROS	42.8	ppm CL A 1-
	DUREZA TOTAL	296	ppm CaCO <sub>3</sub>
	DUREZA CALCICA	175	ppm CaCO <sub>3</sub>
	DUREZA MAGNESICA	121	ppm CaCO <sub>3</sub>
	MATERIA ORGANICA	0.62	ppm O <sub>2</sub>
	SULFATOS	159	(SO <sub>4</sub> ) A 2-
	HIERRO	0.5	mg Fe/l
	ZINC	2.82	mg Zn / l
	PLOMO	0.04	mg Pb/l
CONCLUSION	ES UNA MUESTRA QUE CONTIENE UN PH COMPLETAMENTE ÁCIDO, LO QUE INDICA QUE DEBE TENER UNA ALTA CONCENTRACION DE IONES HIDROGENIONES Y DE METALES.		
NOTA	LA MUESTRA FUE ALCANZADA A ESTE LABORATORIO PARA SU ANÁLISIS RESPECTIVO		
REPRESENTANTE DEL LABORATORIO	 ING. HUGO MOSQUEIRA ESTRAVER		

## ANEXO 7

### Panel fotográfico

#### Estructuras en la mina banco minero



**FOTO 01:** Vista del escurrimiento del agua contaminada en la bocamina donde se construirá la estructura tipo I.



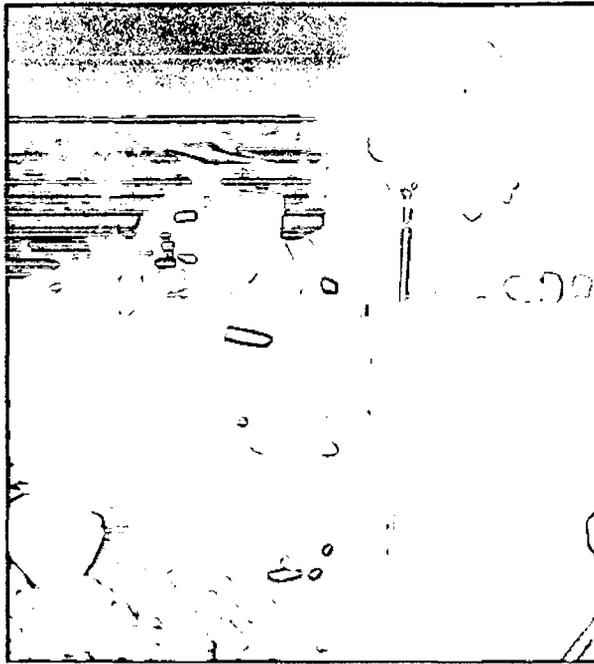
**FOTO 02:** Vista del escurrimiento del agua contaminada en la bocamina donde se construirá la estructura tipo I.



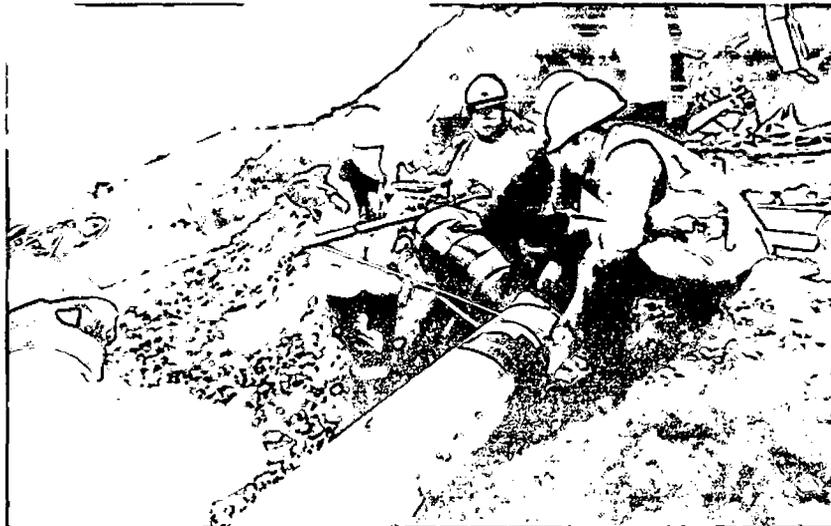
**FOTO 03:** Vista de los trabajos de limpieza de la bocamina.



**FOTO 04:** Vista del encofrado del muro interior en la bocamina



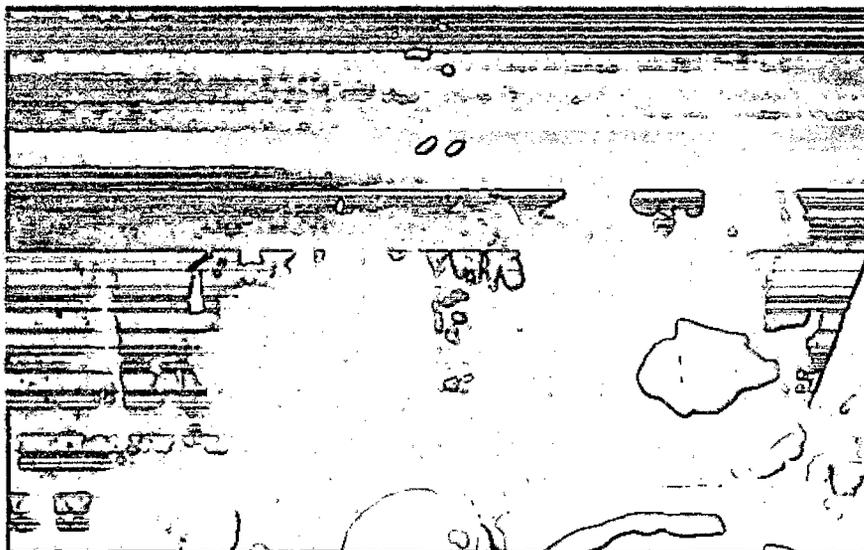
**FOTO 05:** Comprobando las medidas del dique construido en el interior de la bocamina.



**FOTO 06:** Verificando las medidas las mismas que coincidirán con lo especificado en los planos



**FOTO 07:** Durante la realización de la prueba hidráulica de la tubería, después de haber comprobado que las mediciones son las correctas.



**FOTO 08:** Colocación de la tubería, posteriormente se procederá a construir la otra parte del muro, el que servirá como tapon de la bocamina.



**FOTO 09:** Vista de los trabajos de encofrado para continuación con la construcción del muro.



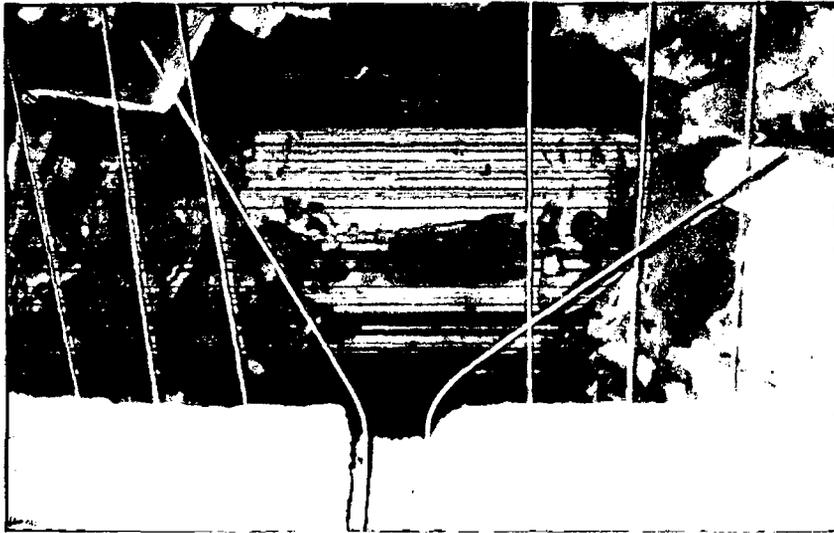
**FOTO 10:** Vista del muro después del vaciado del concreto.



**FOTO 11:** Comprobación de la calidad del concreto.



**FOTO 12:** Sacando probetas para verificar la calidad del concreto.



**FOTO 13:** Vista del muro interior y de una parte del muro exterior, listo para la colocación de la tubería.



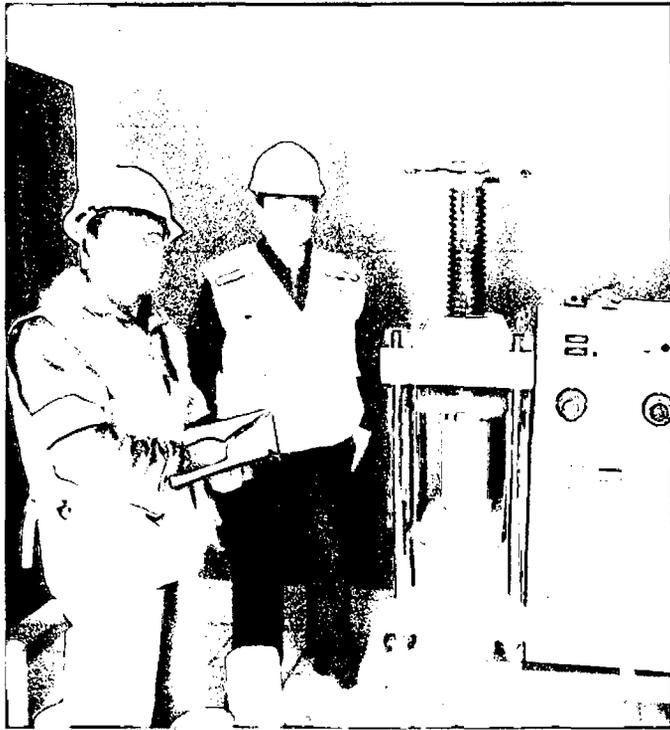
**FOTO 14:** Vista de la colocación de la tubería.



**FOTO 15:** Vista de la colocación de la grava.



**FOTO 16:** Vista de una parte de la tubería después de haber terminado la construcción del muro.



**FOTO 17:** Durante el rompimiento de las probetas en el laboratorio.



**FOTO 18:** Durante el relleno con material limpio.



**FOTO 19:** Durante la verificación de la compactación del relleno.



**FOTO 20:** Durante el trabajo de unión de tuberías por termofusión.



**FOTO 21:** Durante la verificación de ubicación del canal así como de la longitud.



**FOTO 22:** Vista del escurrimiento del agua, después de haber entrado en funcionamiento la estructura, meses después de haber terminada su construcción.



**FOTO 23:** Durante la toma de muestras de agua para su análisis respectivo.



**FOTO 24:** Durante la toma de muestras de agua para su análisis respectivo.



**FOTO 25:** Durante la toma de muestras de agua para su análisis respectivo.



**FOTO 26:** Durante la toma de muestras de agua para su análisis respectivo.

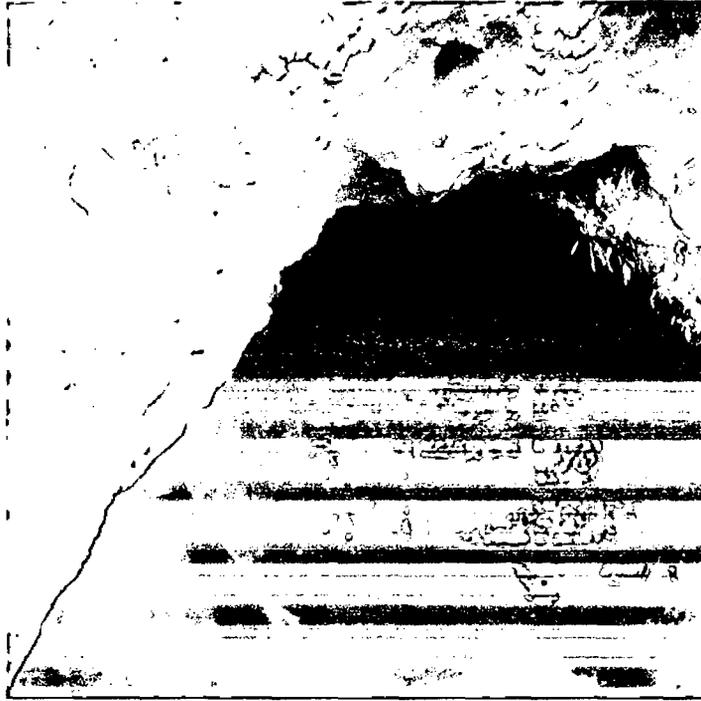
**Estructuras en la mina Tahona.**



**FOTO 27:** Vista del escurrimiento del agua contaminada en la bocamina donde se construirá la estructura tipo II.



**FOTO 28:** Vista de la limpieza de la parte interior de la bocamina.



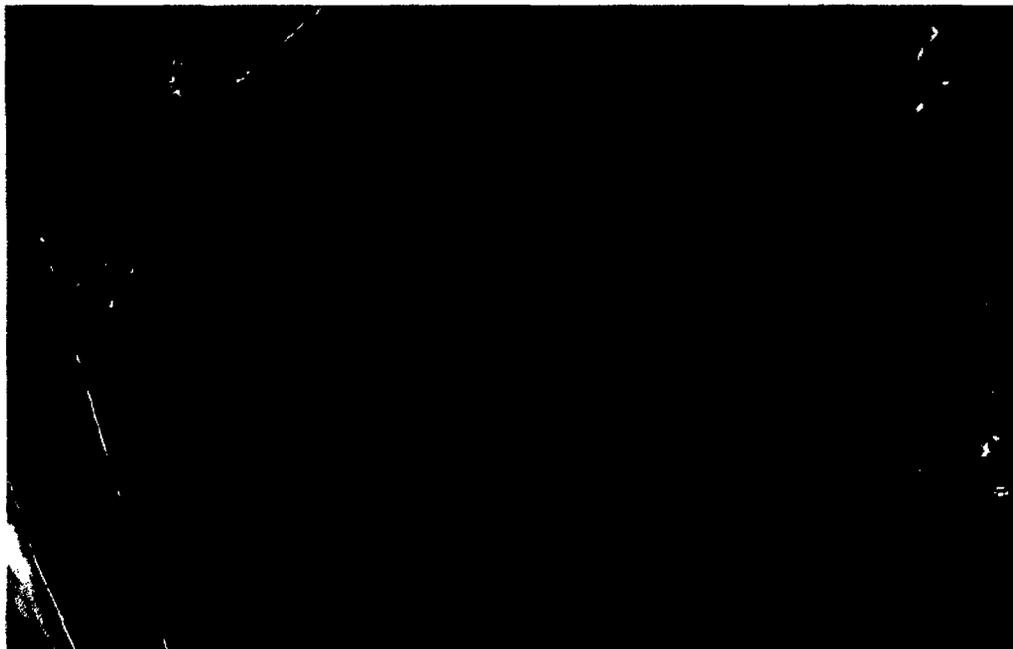
**FOTO 29:** Vista de los trabajos de encofrado para construcción de muros.



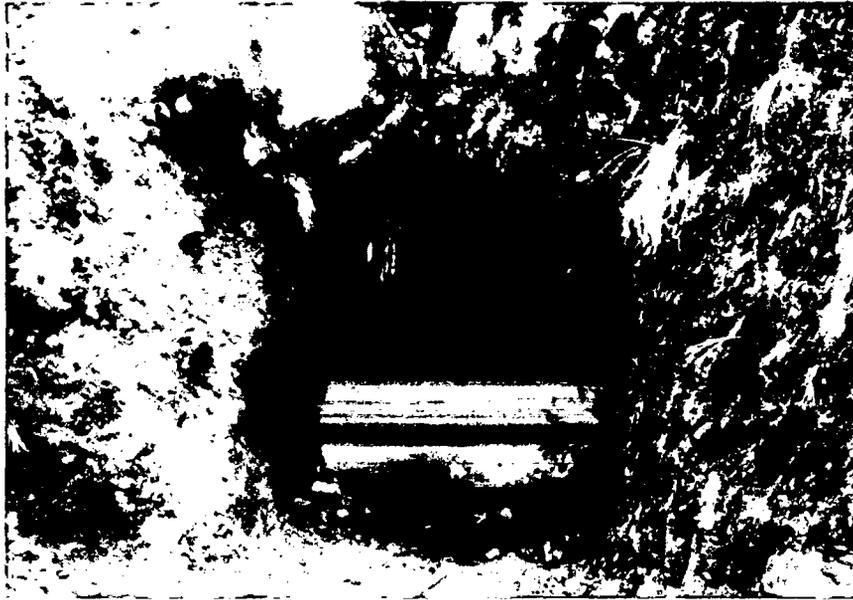
**FOTO 30:** Vista del muro sedimentador ya construido.



**FOTO 31:** Vista del acarreo de materiales hacia la zona de trabajo.



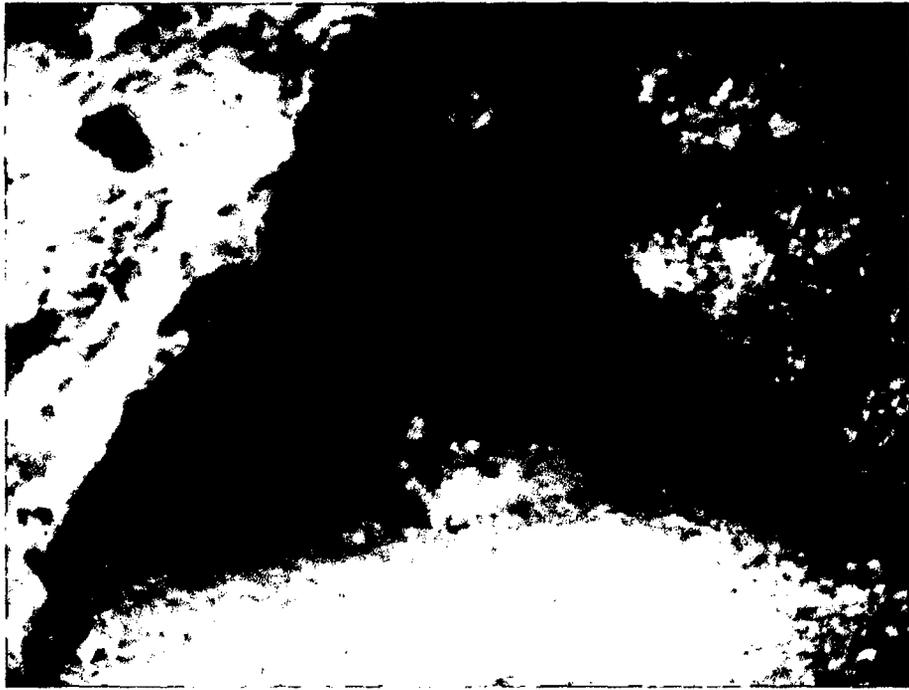
**FOTO 32:** Vista del encofrado del muro que servirá como tapón de la bocamina.



**FOTO 33:** Vista del relleno de la bocamina



**FOTO 34:** Vista del muro ya construido que servirá como tapón para la bocamina.



**FOTO 35:** Vista de la colocación del material para relleno el cual será compactado por capas.



**FOTO 36:** Durante la verificación de la compactación del relleno.



**FOTO 37:** Vista del material que será utilizado en la construcción.



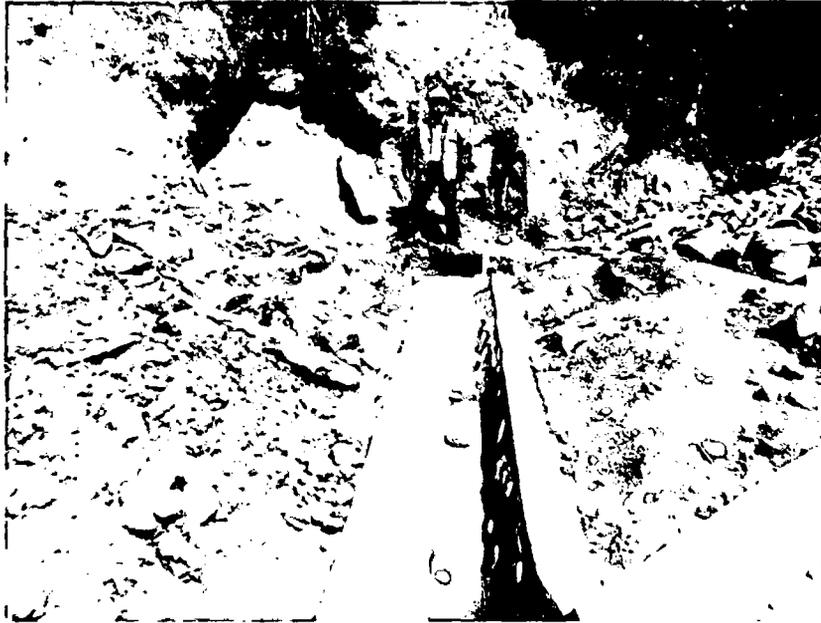
**FOTO 38:** Durante la construcción de la canaleta que evacua el agua proveniente de la bocamina.



**FOTO 39:** Vista de la canaleta ya construida, evacuando el agua.



**FOTO 40:** Vista de la salida del agua después de construida la estructura.



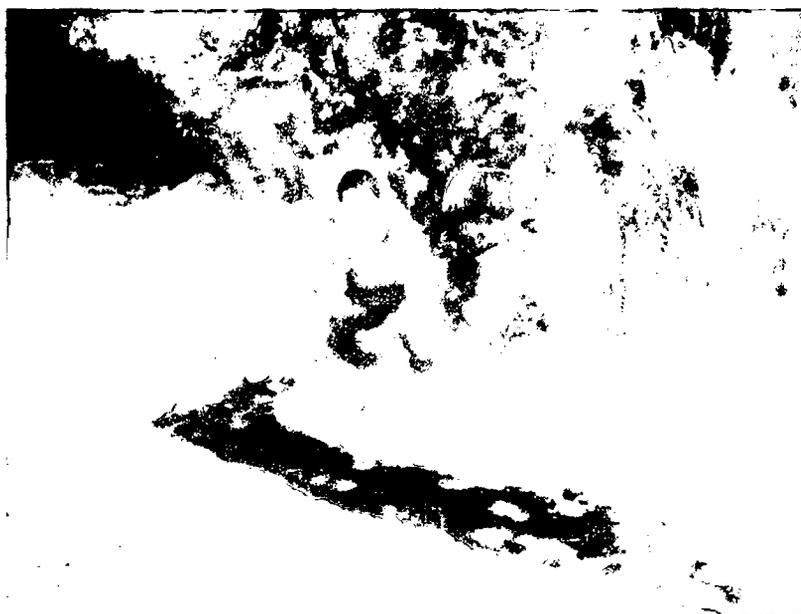
**FOTO 41:** Vista de la canaleta la que evacua el agua que proviene de la bocamina.



**FOTO 42:** Verificación de las medidas de la canaleta que evacua el agua proveniente de la bocamina



**FOTO 43:** Verificación de las medidas de la canaleta que evacua el agua proveniente de la bocamina.



**FOTO 44:** Durante la toma de muestras de agua para su análisis respectivo.



**FOTO 45:** Durante la toma de muestras de agua para su análisis respectivo.



**FOTO 46:** Durante la toma de muestras de agua para su análisis respectivo.



**FOTO 47:** Durante la toma de muestras de agua para su análisis respectivo.



**FOTO 48:** Durante la toma de muestras de agua para su análisis respectivo.