



UNIVERSIDAD  
PRIVADA  
DEL NORTE

# FACULTAD DE INGENIERÍA

---

CARRERA DE INGENIERÍA DE MINAS

“MEDICIÓN DE LAS PROPIEDADES GEOQUÍMICAS DEL DRENAJE DE AGUA SUBTERRÁNEA DEL NIVEL 6 Y DEL RELAVE DEL PASIVO AMBIENTAL DE LA MINA PAREDONES Y SU CONTAMINACIÓN EN EL RIO SAN PABLO - SAN BERNARDINO - MARZO 2016”.

Tesis para optar el título profesional de:

**Ingeniero de Minas**

**Autor:**

Bachiller Giovana Emperatriz Álvarez Sangay

**Asesor:**

Ing. Víctor Eduardo Álvarez León

Cajamarca – Perú  
2016

## **APROBACIÓN DE LA TESIS**

El asesor y los miembros del jurado evaluador asignados, **APRUEBAN** la tesis desarrollada por la Bachiller **Giovana Emperatriz Álvarez Sangay**, denominada:

**“MEDICIÓN DE LAS PROPIEDADES GEOQUÍMICAS DEL DRENAJE DE AGUA SUBTERRÁNEA DEL NIVEL 6 Y DEL RELAVE DEL PASIVO AMBIENTAL DE LA MINA PAREDONES Y SU CONTAMINACIÓN EN EL RÍO SAN PABLO - SAN BERNARDINO - MARZO 2016”.**

---

Ing. Víctor Eduardo Álvarez León  
**ASESOR**

---

Mg. Ing. José Alfredo Siveroni Morales  
**JURADO**

---

Ing. Roberto Severino González Yana  
**JURADO**

---

Ing. Wilder Chuquiruna Chávez  
**JURADO**

## DEDICATORIA

### **A DIOS**

*Por su infinita misericordia,  
porque en cada paso que doy  
siempre me demuestra su amor,  
por estar su mano siempre sosteniendo  
a la mía; lo que ha permitido que  
pueda llegar hasta esta etapa, superando  
todas las pruebas, y que hoy estoy  
infinitamente agradecida por lograr  
concretar este objetivo trazado.*

### **A MIS PADRES**

*MARÍA y HÉCTOR, quienes  
me brindaron su apoyo, sin cuestionar  
mi decisión de iniciar una nueva carrera,  
por brindarme una sonrisa que reflejaba  
el gran amor, que fortalece el alma, y no  
dejarme desfallecer ante las pruebas que se  
presentaron en el transcurso de esta meta.  
Gracias porque ustedes iniciaron mi  
educación y gracias a ello, he podido  
hoy concluir un logro más en mi formación.*

### **A MIS AMIGOS**

*Por estar siempre a mi lado, por ser  
amigas(o) de un corazón incomparable,  
gracias por su apoyo incondicional.*

**EMPERATRIZ ÁLVAREZ**

## AGRADECIMIENTO

El presente trabajo de tesis, empiezo agradeciendo a Dios por bendecirme y regalarme un día más de vida, para llegar hasta este punto, de ver realizado este sueño anhelado.

A la Universidad Privada del Norte, por haber abierto sus puertas y acogerme como alumna dentro de sus aulas para formarme a través de sus docentes, permitiendo así nutrir el conocimiento y de esta manera como estudiante cumplir un sueño, una meta, un objetivo.

A mi asesor del proyecto, Ing. Víctor Eduardo Álvarez León, por haber dedicado su tiempo y brindar su aporte técnico para la elaboración de esta Tesis.

A los docentes del Departamento de Ingeniería de Minas, en especial al Ing. José Siveroni Morales, Ing. Roberto Gonzales Yana, por su dedicación a la investigación y docencia, porque con ese ímpetu me han apoyado brindándome sus conocimientos y consejos, apoyándome constantemente.

A mi familia y en especial a mi abuelita Luz, quienes siempre han apostado por mí, haciéndome sentir su anhelo de ver culminada esta etapa de mi formación profesional, dándome su amor que vence toda barrera en la vida.

Así mismo, agradecer a todos mis compañeros, amigos y compañeros de la universidad, quienes con sus diferentes experiencias y conocimiento fortalecieron nuestra formación académica y dotaron de aportes que sirvieron en el desarrollo de este trabajo de investigación.

Presento mi gratitud, aprecio y agradecimiento por siempre.

**EMPERATRIZ.**

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

	Pág.
<b>APROBACIÓN DE LA TESIS.....</b>	<b>ii</b>
<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>iii</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>iv</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS .....</b>	<b>v</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>x</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>xiii</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>xv</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xvi</b>
<b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>17</b>
1.1 Realidad problemática. ....	17
1.2 Formulación del problema.....	18
1.3 Justificación del problema.....	18
1.4 Limitaciones. ....	18
1.5 Objetivos. ....	18
1.5.1 <i>Objetivo general.</i> ....	18
1.5.2 <i>Objetivos específicos.</i> ....	19
<b>CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>20</b>
1.1 Antecedentes .....	20
1.2 Bases Teóricas. ....	22
1.2.1 <i>Los pasivos ambientales mineros (PAM).</i> .....	22
1.2.2 <i>Generación de Drenaje Ácido de Mina (DAM).</i> .....	22
1.2.3 <i>Relaves Mineros.</i> .....	26
1.2.4 <i>Estándar de Calidad Ambiental (ECA)</i> .....	26
1.2.5 <i>Límites Máximos Permisibles (LMP)</i> .....	27
1.2.6 <i>Comportamiento Pluviométrico.</i> ....	27
1.3 Definición de términos básicos. ....	28
<b>CAPÍTULO 3. HIPÓTESIS. ....</b>	<b>34</b>

3.1 Formulación de la Hipótesis.....	34
3.2 Variables .....	34
2.4.1 Variable Dependiente:.....	34
2.4.2 Variable Independiente: .....	34
2.4.3 Operacionalización de variables. ....	34
<b>CAPÍTULO 4. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>36</b>
4.1 Tipo de diseño de investigación.....	36
4.2 Materiales de Estudio.....	36
4.2.1 Unidad de estudio.....	36
4.2.2 Población. ....	36
4.2.3 Muestra.....	36
4.3 Técnicas, procedimientos e instrumentos.....	38
4.3.1 Para recolectar datos. ....	38
4.3.2 Para analizar información.....	39
<b>CAPITULO 5. DESARROLLO .....</b>	<b>41</b>
5.1 Ubicación de la mina Paredones. ....	41
5.2 Geología.....	43
5.3 Antecedentes de la mina paredones. ....	44
<b>CAPÍTULO 6. RESULTADOS .....</b>	<b>46</b>
6.1 Resultados de las propiedades geoquímicas en el Río San Pablo de la Concentración del As, Cu, Fe, Pb, Zn y pH para el tiempo de Sequía.....	46
6.1.1 Resultados de la concentración del Arsénico (As) en el punto de muestreo P1, P3 y P5 en el Río San Pablo en tiempo de sequía, comparados con el ECA-Categoría 3 .....	47
6.1.2 Resultados de la concentración de Cobre (Cu) en el punto de muestreo P1, P3 y P5 en el Río San Pablo en tiempo de sequía, comparados con el ECA-Categoría 3. ....	48
6.1.3 Resultados de la concentración de Hierro (Fe) en el punto de muestreo P1, P3 y P5 en el Río San Pablo en tiempo de sequía, comparados con el ECA-Categoría 3. ....	49
6.1.4 Resultados de la concentración de Plomo (Pb) en el punto de muestreo P1, P3 y P5 en el Río San Pablo en tiempo de sequía, comparados con el ECA-Categoría 3. ....	50

6.1.5 Resultados de la concentración de Zinc (Zn) en el punto de muestreo P1, P3 y P5 en el Río San Pablo en tiempo de sequía, comparados con el ECA-Categoría 3. ....	51
6.1.6 Resultados del pH en el punto de muestreo P1, P3 y P5 en el Río San Pablo en tiempo de sequía, comparados con el ECA-Categoría 3.....	52
6.2 Resultados de las propiedades geoquímicas dentro del nivel 6, escorrentía del depósito de relave de la Mina Paredones del As, Cu, Fe, Pb, Zn y pH, para el tiempo de Sequía.....	53
6.2.1 Resultado de concentración de Arsénico (As) en el nivel 6 (P2), escorrentía del depósito de relave (P4) en tiempo de sequía comparado con los Límites Máximos Permisibles (LMP). ....	54
6.2.2 Resultado de concentración de Cobre (Cu) en el nivel 6 (P2), escorrentía del depósito de relave (P4) en tiempo de sequía comparado con los Límites Máximos Permisibles (LMP). ....	54
6.2.3 Resultado de concentración de Hierro (Fe) en el nivel 6, escorrentía del depósito de relave en tiempo de sequía comparado con los Límites Máximos Permisibles (LMP).....	55
6.2.4 Resultado de concentración de Plomo (Pb) en el nivel 6 (P2), escorrentía del depósito de relave (P4) en tiempo de sequía comparado con los Límites Máximos Permisibles (LMP). ....	56
6.2.5 Resultado de concentración de Zinc (Zn) en el nivel 6 (P2), escorrentía del depósito de relave (P4) en tiempo de sequía comparado con los Límites Máximos Permisibles (LMP). ....	56
6.2.6 Resultado del pH en el nivel 6 (P2), escorrentía del depósito de relave (P4) en tiempo de sequía comparado con el pH de los Límites Máximos Permisibles (LMP). ....	57
6.3 Resultados de las propiedades geoquímicas en el Río San Pablo del As, Cu, Fe, Pb, Zn y pH, para el tiempo de lluvia.....	58
6.3.1 Resultados de la concentración del Arsénico (As) en el punto de muestreo P1, P3 y P5 en el Río San Pablo en tiempo de lluvia, comparados con el ECA-Categoría 3.....	58
6.3.2 Resultados de la concentración del Cobre (Cu) en el punto de muestreo P1, P3 y P5 en el Río San Pablo en tiempo de lluvia, comparados con el ECA-Categoría 3. ....	59
6.3.3 Resultados de la concentración del Hierro (Fe) en el punto de muestreo P1, P3 y P5 en el Río San Pablo en tiempo de lluvia, comparados con el ECA-Categoría 3. ....	60
6.3.4 Resultados de la concentración del Plomo (Pb) en el punto de muestreo P1, P3 y P5 en el Río San Pablo en tiempo de lluvia, comparados con el ECA-Categoría 3. ....	61
6.3.5 Resultados de la concentración del Zinc (Zn) en el punto de muestreo P1, P3 y P5 en el Río San Pablo en tiempo de lluvia, comparados con el ECA-Categoría 3. ....	62

6.3.6 Resultados del pH en el punto de muestreo P1, P3 y P5 en el Río San Pablo en tiempo de lluvia, comparados con el pH del ECA-Categoría 3.....	63
6.4 Resultados de las propiedades geoquímicas dentro del nivel 6, escorrentía del depósito de relave de la Mina Paredones del As, Cu, Fe, Pb, Zn y pH, para el tiempo de lluvia. ....	64
6.4.1 Resultado de concentración de Arsénico (As) en el nivel 6 (P2), escorrentía del depósito de relave (P4) en tiempo de lluvia comparado con los Límites Máximos Permisibles (LMP). ....	65
6.4.2 Resultado de concentración de Cobre (Cu) en el nivel 6 (P2), escorrentía del depósito de relave (P4) en tiempo de lluvia comparado con los Límites Máximos Permisibles (LMP). ....	65
6.4.3 Resultado de concentración de Hierro (Fe) en el nivel 6 (P2), escorrentía del depósito de relave (P4) en tiempo de lluvia comparado con los Límites Máximos Permisibles (LMP). ....	66
6.4.4 Resultado de concentración de Plomo (Pb) en el nivel 6 (P2), escorrentía del depósito de relave (P4) en tiempo de lluvia comparado con los Límites Máximos Permisibles (LMP). ....	67
6.4.5 Resultado de concentración de Zinc (Zn) en el nivel 6 (P2), escorrentía del depósito de relave (P4) en tiempo de lluvia comparado con los Límites Máximos Permisibles (LMP). ....	67
6.4.4 Resultado del pH en el nivel 6 (P2), escorrentía del depósito de relave (P4) en tiempo de lluvia comparado con el pH de los Límites Máximos Permisibles (LMP). ....	68
6.5 Comparación de la concentración del As, Cu, Fe, Pb, Zn y pH en el Río San Pablo, para el tiempo de sequía y lluvia. ....	69
6.6 Resultados del análisis comparativo de la concentración del As, Cu, Fe, Pb, Zn y pH en el Río San Pablo con el ECA - Categ. 3 (tiempo de sequía y lluvia) determinando que no existe contaminación. ....	71
6.7 Resultados de la Prueba de Hipótesis. ....	74
6.7.1 Evaluar si existe diferencia significativa entre la concentración de metales en tiempo de sequía y lluvia. ....	74
6.7.2 Determinar si existe contaminación en el río San Pablo en tiempo de sequía y lluvia. ....	77
<b>CAPÍTULO 7. DISCUSIÓN.....</b>	<b>83</b>
7.1 De la concentración del As, Cu, Fe, Pb, Zn y pH en el punto de muestreo P1 (500 m aguas arriba de la bocamina del nivel 6 de la Mina Paredones), P3 (frente a la bocamina del nivel 6) y P5 (500m aguas abajo pasando el depósito de relave) en el Río San Pablo en tiempo de sequía, comparados con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) - Categoría 3 .....	83

7.2 De la concentración del As, Cu, Fe, Pb, Zn y pH en el punto de muestreo P2 (500 m dentro del nivel 6 de la Mina Paredones), P4 (escorrentía del depósito de relave) en tiempo de sequía, comparados con los Límites Máximos Permisibles (LMP). .....	84
7.3 De la concentración del As, Cu, Fe, Pb, Zn y pH en el punto de muestreo P1 (500 m aguas arriba de la bocamina del nivel 6 de la Mina Paredones), P3 (frente a la bocamina del nivel 6) y P5 (500m aguas abajo pasando el depósito de relave) en el Río San Pablo en tiempo de lluvia, comparados con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) - Categoría 3. ....	85
7.4 De la concentración del As, Cu, Fe, Pb, Zn y pH en el punto de muestreo P2 (500 m dentro del nivel 6 de la Mina Paredones), P4 (escorrentía del depósito de relave) en tiempo de lluvia, comparados con los Límites Máximos Permisibles (LMP) .....	86
7.5 Discusión de resultados para evaluar si existe diferencia significativa entre la concentración de metales en tiempo de sequía y tiempo de lluvia. ....	88
7.6 Discusión de resultados para determinar si existe contaminación en el río San Pablo en tiempo de sequía y en tiempo de lluvia. ....	89
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>92</b>
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>94</b>
<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>95</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>99</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
<b>Tabla 1:</b> Comportamiento de la precipitación en San Pablo. ....	28
<b>Tabla 2:</b> Operacionalización de las variables. ....	35
<b>Tabla 3:</b> Ubicación Política de la Mina Paredones. ....	41
<b>Tabla 4:</b> Ubicación Geográfica de la Mina Paredones. ....	42
<b>Tabla 5:</b> Clasificación de las rocas Igneas. ....	44
<b>Tabla 6:</b> Resultados geoquímicos en el Río San Pablo en tiempo de sequía. ....	46
<b>Tabla 7:</b> Valores del Parámetro de comparación ECA – Categoría 3.....	46
<b>Tabla 8:</b> Resultado del As en P1, P3, P5 en el Río San Pablo, con el ECA. ....	47
<b>Tabla 9:</b> Resultado del Cu en P1, P3, P5 en el Río San Pablo, con el ECA. ....	48
<b>Tabla 10:</b> Resultado del Fe en P1, P3, P5 en el Río San Pablo, con el ECA.....	49
<b>Tabla 11:</b> Resultado del Pb en P1, P3, P5 en el Río San Pablo, con el ECA.....	50
<b>Tabla 12:</b> Resultado del Zn en P1, P3, P5 en el Río San Pablo, con el ECA.....	51
<b>Tabla 13:</b> Resultado del pH en P1, P3, P5 en el Río San Pablo, con el ECA .....	52
<b>Tabla 14:</b> Resultados geoquímicos dentro del nivel 6 (P2), escorrentía del depósito de relave (P4) en tiempo de sequía. ....	53
<b>Tabla 15:</b> Resultado de concentración de Arsénico (As) en el punto de muestreo P2 y P4 en tiempo de sequía comparado con los LMP. ....	54
<b>Tabla 16:</b> Resultado de concentración de Cobre (Cu) en el punto de muestreo P2 y P4 en tiempo de sequía comparado con los LMP. ....	54
<b>Tabla 17:</b> Resultado de concentración de Hierro (Fe) en el punto de muestreo P2 y P4 en tiempo de sequía comparado con los LMP. ....	55
<b>Tabla 18:</b> Resultado de concentración de Plomo (Pb) en el punto de muestreo P2 y P4 en tiempo de sequía comparado con los LMP. ....	56
<b>Tabla 19:</b> Resultado de concentración de Zinc (Zn) en el punto de muestreo P2 y P4 en tiempo de sequía comparado con los LMP. ....	56
<b>Tabla 20:</b> Resultado del pH en P2 y P4 comparado con los LMP .....	57
<b>Tabla 21:</b> Resultados geoquímicos en el Río San Pablo en tiempo de lluvia.....	58
<b>Tabla 22:</b> Resultado del As en P1, P3, P5 en el Río San Pablo, con el ECA.....	58

<b>Tabla 23:</b> Resultado del Cu en P1, P3, P5 en el Río San Pablo, con el ECA. ....	59
<b>Tabla 24:</b> Resultado del Cu en P1, P3, P5 en el Río San Pablo, con el ECA. ....	60
<b>Tabla 25:</b> Resultado del Pb en P1, P3, P5 en el Río San Pablo, con el ECA.....	61
<b>Tabla 26:</b> Resultado del Zn en P1, P3, P5 en el Río San Pablo, con el ECA.....	62
<b>Tabla 27:</b> Resultado del pH en P1, P3, P5 comparado con ECA .....	63
<b>Tabla 28:</b> Resultados geoquímicos dentro del nivel 6 (P2), escorrentía del depósito de relave (P4) en tiempo de lluvia. ....	64
<b>Tabla 29:</b> Resultado de concentración de Arsénico (As) en el punto de muestreo P2 y P4 en tiempo de lluvia comparado con los LMP. ....	65
<b>Tabla 30:</b> Resultado de concentración de Cobre (Cu) en el punto de muestreo P2 y P4 en tiempo de lluvia comparado con los LMP. ....	65
<b>Tabla 31:</b> Resultado de concentración de Hierro (Fe) en el punto de muestreo P2 y P4 en tiempo de lluvia comparado con los LMP. ....	66
<b>Tabla 32:</b> Resultado de concentración de Plomo (Pb) en el punto de muestreo P2 y P4 en tiempo de lluvia comparado con los LMP. ....	67
<b>Tabla 33:</b> Resultado de concentración de Zinc (Zn) en el punto de muestreo P2 y P4 en tiempo de lluvia comparado con los LMP. ....	67
<b>Tabla 34:</b> Resultado del pH en P2 y P4 comparado con los LMP .....	68
<b>Tabla 35:</b> Concentración de As, Cu, Fe, Pb, Zn y pH en el Río San Pablo, para el tiempo de Sequía.....	69
<b>Tabla 36:</b> Concentración de As, Cu, Fe, Pb, Zn y pH en el Río San Pablo, para el tiempo de Lluvia. ....	69
<b>Tabla 37:</b> Concentración de Arsénico (As) en el Río San Pablo, para el tiempo de sequía y lluvia. ....	69
<b>Tabla 38:</b> Concentración de Cobre (Cu) en el Río San Pablo, para el tiempo de sequía y lluvia.....	70
<b>Tabla 39:</b> Concentración de Hierro (Fe) en el Río San Pablo, para el tiempo de Sequía y Lluvia. ....	70
<b>Tabla 40:</b> Concentración de Plomo (Pb) en el Río San Pablo, para el tiempo de Sequía y Lluvia.....	70
<b>Tabla 41:</b> Concentración de Zinc (Zn) en el Río San Pablo, para el tiempo de sequía y lluvia. ....	71
<b>Tabla 42:</b> Concentración de pH, en el Río San Pablo, para el tiempo de sequía y lluvia. ....	71
<b>Tabla 43:</b> Concentración de As, Cu, Fe, Pb, Zn y pH en el Río San Pablo, para el tiempo de Sequía.....	71
<b>Tabla 44:</b> Concentración de As, Cu, Fe, Pb, Zn y pH en el Río San Pablo, para el tiempo de Lluvia. ....	72
<b>Tabla 45:</b> ECA de la concentración de Arsénico, en el Río San Pablo, en tiempo de lluvia .....	72

<b>Tabla 46:</b> ECA de la concentración de Cobre, en el Río San Pablo, para el tiempo de lluvia. ....	72
<b>Tabla 47:</b> ECA de la concentración de Hierro, en el Río San Pablo, para el tiempo de lluvia. ....	73
<b>Tabla 48:</b> ECA de la concentración de Plomo, en el Río San Pablo, para el tiempo de lluvia. ....	73
<b>Tabla 49:</b> ECA de la concentración de Zinc, en el Río San Pablo, para el tiempo de lluvia. ....	73
<b>Tabla 50:</b> ECA de la concentración de pH, en el Río San Pablo, para el tiempo de lluvia. ....	74

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
<b>Figura 1:</b> Puntos de Muestreo.....	37
<b>Figura 2:</b> Mapa de Ubicación de la Provincia de San Pablo.....	42
<b>Figura 3:</b> Ubicación Geográfica de la Mina Paredones. ....	43
<b>Figura 4:</b> Proceso para la concentración del mineral en la Mina Paredones. ....	45
<b>Figura 5:</b> Concentración del As en el Río San Pablo vs ECA-Categ. 3.....	47
<b>Figura 6:</b> Concentración del Cu en el Río San Pablo vs ECA-Categ. 3 .....	48
<b>Figura 7:</b> Resultado del Hierro (Fe) en el Río San Pablo vs ECA-Categ. 3 .....	49
<b>Figura 8:</b> Resultado del Pb en el Río San Pablo vs ECA - Categ. 3.....	50
<b>Figura 9:</b> Resultado del Zn en el Río San Pablo vs ECA - Categ. 3.....	51
<b>Figura 10:</b> Resultado del pH en el Río San Pablo vs ECA - Categ. 3 .....	52
<b>Figura 11:</b> Valores del Parámetro de comparación con los LMP.....	53
<b>Figura 12:</b> Resultado de concentración de As en el punto de muestreo P2 y P4 en tiempo de sequía vs LMP.....	54
<b>Figura 13:</b> Resultado de concentración de Cobre (Cu) en el punto de muestreo P2 y P4 en tiempo de sequía vs los LMP. ....	55
<b>Figura 14:</b> Resultado de concentración de Hierro (Fe) en el punto de muestreo P2 y P4 en tiempo de sequía vs los LMP. ....	55
<b>Figura 15:</b> Resultado de concentración de Plomo (Pb) en el punto de muestreo P2 y P4 en tiempo de sequía vs los LMP. ....	56
<b>Figura 16:</b> Resultado de concentración de Zinc (Zn) en el punto de muestreo P2 y P4 en tiempo de sequía vs los LMP. ....	57
<b>Figura 17:</b> Resultado del pH en P2 y P4 vs LMP.....	57
<b>Figura 18:</b> Concentración del As en el Río San Pablo vs ECA-Categ. 3.....	59
<b>Figura 19:</b> Concentración del Cu en el Río San Pablo vs ECA-Categ. 3 .....	60
<b>Figura 20:</b> Concentración del Fe en el Río San Pablo vs ECA-Categ. 3.....	61
<b>Figura 21:</b> Concentración del Pb en el Río San Pablo vs ECA-Categ. 3 .....	62
<b>Figura 22:</b> Concentración del Zn en el Río San Pablo vs ECA-Categ. 3.....	63
<b>Figura 23:</b> Resultado del pH en P1, P3, P5 comparado con ECA.....	64

<b>Figura 24:</b> Resultado de concentración de As en el punto de muestreo P2 y P4 en tiempo de lluvia vs LMP. ....	65
<b>Figura 25:</b> Resultado de concentración de Cobre (Cu) en el punto de muestreo P2 y P4 en tiempo de lluvia comparado con los LMP. ....	66
<b>Figura 26:</b> Resultado de concentración de Hierro (Fe) en el punto de muestreo P2 y P4 en tiempo de lluvia comparado con los LMP. ....	66
<b>Figura 27:</b> Resultado de concentración de Plomo (Pb) en el punto de muestreo P2 y P4 en tiempo de lluvia comparado con los LMP. ....	67
<b>Figura 28:</b> Resultado de concentración del Zinc (Zn) en el punto de muestreo P2 y P4 en tiempo de lluvia comparado con los LMP. ....	68
<b>Figura 29:</b> Resultado del pH en P2 y P4 vs LMP.....	68
<b>Figura 30:</b> Cronograma de Actividades.....	99
<b>Figura 31:</b> Resultados geoquímicos del P1 por INGECONSULT & LAB SRL.....	100
<b>Figura 32:</b> Resultados geoquímicos del P2 por INGECONSULT & LAB SRL.....	101
<b>Figura 33:</b> Resultados geoquímicos del P2 por LABORATORIO REGIONAL DE AGUA – GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA. ....	102
<b>Figura 34:</b> Resultados geoquímicos del P3 por INGECONSULT & LAB SRL.....	103
<b>Figura 35:</b> Resultados geoquímicos del P4 por INGECONSULT & LAB SRL.....	104
<b>Figura 36:</b> Resultados geoquímicos del P4 por LABORATORIO REGIONAL DE AGUA – GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA. ....	105
<b>Figura 37:</b> Resultados geoquímicos del agua - LABORATORIO REGIONAL DE AGUA – GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA. ....	106

## RESUMEN

Esta tesis hace referencia a la medición de las propiedades geoquímicas en el drenaje del agua subterránea del nivel 6, de la escorrentía del depósito de relave de la Mina Paredones y la contaminación que genera en el Río San Pablo, como consecuencia del abandono de esta Mina. En este estudio se han tomado muestras en época de sequía y época de lluvia donde tiene influencia estos pasivos ambientales.

Se ha determinado a través de la medición de las propiedades geoquímicas, que se produce drenaje ácido de mina en tiempo de sequía en el nivel 6 de la Mina Paredones, conjuntamente con la erosión del depósito de relave en tiempo de lluvia, lo cual genera altas concentraciones de algunos metales.

Los resultados de los análisis geoquímicos en las muestras del agua subterránea del nivel 6 en época de sequía, arroja concentración elevada de los metales de: As, Fe, Zn con un pH ácido, y el relave en sequía no emite ningún flujo por lo que la muestra es cero.

Los resultados de los análisis geoquímicos en época de lluvia en el drenaje de agua subterránea del nivel 6, presentan concentración elevada de Zn con un pH neutro, sin embargo la escorrentía de agua del relave, muestra concentración muy elevada de As, Cu, Fe, Pb, Zn con un pH ácido, en comparación con los Límites Máximos Permisibles (LMP).

Así mismo, de la medición de las muestras de agua del mismo Río San Pablo, 500m antes de la bocamina del nivel 6, frente a la bocamina del nivel 6 y 500m pasando el depósito del relave; en época de sequía tiene mayor concentración de Pb con un pH ácido sólo frente a la bocamina del nivel 6; los otros puntos de muestreo tiene pH neutro; en cambio en tiempo de lluvia, la concentración de As, Cu, Fe, Pb, Zn es menor a lo establecido en los límites del Estándar de Calidad Ambiental, presentando un pH neutro 500m antes de la bocamina del nivel 6, pH alcalino frente a la bocamina del nivel 6 y pH ácido 500m después del depósito de relave, en comparación con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) [CATEGORIA 3 / D1: Riego de cultivos de tallo alto y bajo, D2: Bebida de animales].

Se determinó que no existe contaminación en el río San Pablo, concluyendo que en tiempo de sequía no existe contaminación por As, Fe, Pb, Zn en el río San Pablo y no existe contaminación por Cu y el valor que presenta la muestra es por variaciones del muestreo. Y en tiempo de lluvia también se concluye que no existe contaminación por As, Cu, Fe, Pb y Zn en el río San Pablo.

## ABSTRACT

This thesis refers to the measurement of the geochemical properties in the drainage of ground water of level 6, the runoff of sludge tank of the Mine walls and the pollution that it generates in the River Saint Paul, as a consequence of the abandonment of this mine. In this study, samples were taken during drought and rainy season which has influence these environmental liabilities.

It has been determined through the measurement of the geochemical properties, which occurs acid mine drainage in time of drought in the level 6 of the mine walls, together with the erosion of the sludge tank in time of rain which generates high concentrations of some metals.

The results of the geochemical analyzes on samples of groundwater for level 6 in times of drought, yields high concentration of metals of: Ace, Fe, Zn with an acid pH, and relave in drought emits no flow so that the sample is zero.

The results of the geochemical analyzes in rainy season in the underground water drain of level 6 has high concentration of metal Zn, with a neutral pH, however the runoff water from the sludge, shows very high concentrations of metals As, Cu, Fe, Pb, Zn with an acid pH, in comparison with the maximum permissible limits.

Likewise, the measurement of the water samples of the same river San Pablo, 500m before the pithead of level 6, compared to the pithead of level 6 and 500m past the reservoir of the sludge, in times of drought has a greater concentration of metals Pb with an acid pH only in front of the pithead of level 6, the other sampling points has a pH neutral; in change in time of rain, the concentration of Ace, Cu, Fe, Pb, Zn is less than what is established in the limits of the standard of Environmental Quality, presenting a neutral pH 500m before the pithead of level 6, alkaline pH compared to the pithead of level 6 and acid pH 500m after The deposit of sludge, in comparison with the Environmental Quality Standards (ACE) [category 3 / D1: irrigation of crops of high stem and low, D2: Drink of animals].

It was determined that there is no contamination in the river San Pablo, concluding that in times of drought there is no contamination As, Fe, Pb, Zn in the River San Pablo and there is no contamination by Cu and the value which the sample is variations sampling . And in rainy weather also it concludes that there is no contamination As, Cu, Fe, Pb and Zn in the river San Pablo.

## **CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN**

El agua del Río San Pablo es un recurso importante e imprescindible para gran parte de la población de Chilete. En este sentido la presente tesis se propone medir las propiedades geoquímicas del drenaje de agua subterránea del nivel 6 y del relave del pasivo ambiental de la Mina Paredones, es decir caracterizar geoquímicamente el nivel de influencia que ejerce los pasivos ambientales en este Río y evaluar su contaminación. Las aguas de este río son utilizadas para regadío y consumo de animales, por lo que es necesario evidenciar si las descargas de estos pasivos ambientales de la Mina Paredones causan degradación y/o impacto negativo en la calidad del agua.

La elevada concentración de metales, superiores a los límites máximos permisibles y/o estándares de calidad ambiental servirán para advertir la existencia o no de contaminación en las aguas del Río San Pablo, y que podrían causar daño a la población y al medio ambiente, entre estos metales tenemos: Arsénico (As), Cobre (Cu), Plomo (Pb), Zinc (Zn), Hierro (Fe).

Los análisis de estos elementos se han realizado en el Laboratorio Regional de Agua del Gobierno Regional y en INGECONSULT & LAB SRL de Cajamarca.

### **1.1 Realidad problemática.**

La Mina Paredones se ubica a 4 km al noroeste del pueblo de Chilete, provincia de San Bernardino, departamento de Cajamarca. Las operaciones en la mina Paredones, se inició en la época del incanato, en la época de la conquista operaron los españoles, posteriormente lo trabajaron los portugueses, hasta que de 1950 a 1968 operó Northern Perú Mining Corporation. En la época del gobierno del Presidente Velasco Alvarado se expropió esta mina, lo que no permitió que la empresa minera realice un cierre de minas. Y desde 1968 hasta la fecha obtuvo la concesión minera la Empresa Minera SMRL Occidental 2 de Cajamarca.

Esta actividad minera al término de las operaciones en el año 1968, alrededor de 48 años, dejó como pasivo ambiental el drenaje de aguas subterránea de interior mina en el nivel 6 y relaves, del cual al contacto con la lluvia lixivia el material de la relavera discurriendo el flujo de material en el Río San Pablo; y al no contar con un Plan de Cierre de Mina desde el tiempo de su paralización y abandono, se hace

indispensable realizar análisis geoquímico, donde se compararán con los límites máximos permisibles (LMP) y estándares de calidad ambiental (ECA) categoría 3 para determinar su contaminación en el agua del río San Pablo.

## **1.2 Formulación del problema.**

¿Midiendo las propiedades geoquímicas del drenaje del agua subterránea del nivel 6 y el relave como pasivos Ambientales de la Mina Paredones, podremos determinar el nivel de contaminación en el río San Pablo?

## **1.3 Justificación del problema.**

Debido a la influencia minera en la mina Paredones, existen pasivos ambientales que están en contacto con el agua del río San Pablo y a través de las pruebas geoquímicas que realizaremos podremos determinar comparando con los Estándares de Calidad Ambiental y los Límites Máximos Permisibles, el nivel de impacto ambiental (contaminación) que causa el drenaje del agua subterránea del nivel 6 y el relave en la calidad del agua del río San Pablo.

## **1.4 Limitaciones.**

No tener precedentes de estudios anteriores que respalden el problema principal de la investigación para poder realizar análisis comparativos de la caracterización geoquímica de estos pasivos ambientales; y por el costo de los análisis no se ha realizado un muestreo sistemático.

## **1.5 Objetivos.**

### **1.5.1 Objetivo general.**

- Medir las propiedades geoquímicas del drenaje de agua subterránea del nivel 6 y del relave del pasivo ambiental de la Mina Paredones, para determinar el nivel de contaminación en el río San Pablo.

### 1.5.2 Objetivos específicos.

- Realizar un muestreo en:
  - Drenaje de agua subterránea del nivel 6, a 500m dentro de la galería del nivel 6.
  - Drenaje de la escorrentía del relave.
  - Aguas del río San Pablo 500 m aguas arriba, frente a la bocamina y a 500 m aguas abajo pasando depósito del relave.
- Analizar en Laboratorio las muestras del drenaje de agua subterránea del nivel 6, de la escorrentía del relave y del agua del río San Pablo, para determinar las propiedades geoquímicas.
- Evaluar los resultados geoquímicos del drenaje de agua subterránea del nivel 6, de la escorrentía del relave y del agua del río San Pablo comparándolos con los Límites Máximos Permisibles y Estándares de Calidad Ambiental.
- Evaluar si existe diferencia significativa entre la concentración de metales en tiempo de sequía y tiempo de lluvia.
- Determinar si existe contaminación en el río San Pablo.

## **CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.**

### **1.1 Antecedentes**

Canadá ha evaluado y estimado unos 10.000 sitios abandonados de exploración y/o explotación de minería que requieren distintos grados de rehabilitación. El problema ambiental más grave se plantea por los drenajes ácidos de roca y lixiviación de metales de las galerías subterráneas, minas a cielo abierto, las pilas de roca de estéril y áreas de relave.

En la mina abandonada del Monte Washington, en la Isla de Vancouver, las excavaciones al aire libre de mineral bruto de pirita con contenido de sulfato, yacen expuestas a la intemperie junto con 130 mil toneladas de desperdicio de mineral. El sulfuro con sulfatos presentes en el mineral en bruto, reaccionan continuamente con el aire y el agua formando ácido sulfúrico que lixivia los metales pesados. S/A. Consejo de Minería Ambiental de la Columbia Británica. (Arango, 2012).

Según el último inventario de pasivos mineros realizado por la Dirección de Energía y Minas, del ministerio del mismo nombre, las minas abandonadas se ubican en las 23 regiones del Perú, y en 600 de los casos no se conoce quiénes son los responsables de los sitios. Las regiones donde más sitios mineros abandonados existen son Áncash, Puno y Ayacucho, donde hay contaminación de ríos. En Cajamarca existe también el caso del abandono de los restos de la que fue la mina de Hualgayoc. (Perú 21, 2009).

El drenaje de socavones en yacimientos minerales con abundantes sulfuros y rocas de naturaleza ácida, causan la generación de aguas ácidas con abundante contenido de sulfatos y óxidos, que al ocasionar la disminución del pH de los cuerpos receptores de agua, causan la desaparición de la fauna y flora local. (Tovar, 2001).

En geoquímica se hacen análisis geológicos, mineralógicos y de procesos químicos que introducen y controlan las concentraciones, reacciones y movilidad de elementos potencialmente tóxicos al ambiente. La principal problemática ambiental

asociada a los residuos mineros es la producción de drenaje ácido de mina, por lo que ha sido objeto de estudio para explicar su relación con el transporte de metales pesados (principalmente As, Cu, Pb, Zn y Cd) y las altas concentraciones de éstos en agua superficial, agua subterránea y suelos (Salas, 2014).

Otros trabajos se han enfocado en la mineralogía y la caracterización química de los relaves mineros. También existen estudios sobre el impacto de los relaves mineros al ambiente y el amplio rango de problemas sociales pertenecientes a éstos. Otras investigaciones se orientan a la caracterización de las superficies minerales en ambiente natural y sus efectos sobre la disolución de metales pesados.

En México se han realizado estudios sobre el impacto de los relaves al ambiente considerando los factores geológicos, geoquímicos y mineralógicos dentro de ellos (Tovar, 2009).

Las cuencas del país, en donde la actividad minera por sí misma afecta áreas relativamente pequeñas, pero pueden tener gran impacto local sobre el ambiente, puesto que la liberación de metales de los lugares mineros ocurre, principalmente, a través de drenaje ácido de mina y erosión de desechos en pilas y depósitos de relaves. Cuando estos depósitos contienen sulfuros (pirita) y hay acceso de oxígeno, se obtienen resultados de drenaje ácido de mina (DAM). Dependiendo de la naturaleza de los desechos de rocas y depósitos de relaves, este DAM contendrá elevados niveles de metales pesados (Romero, 2008).

Las principales herramientas que actualmente existen para medir el deterioro ambiental. Entre ellas podemos mencionar el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) y los Límites Máximo Permisibles (LMP). (Sociedad Nacional de Minería y Petróleo y Energía, Noviembre II-2004).

## 1.2 Bases Teóricas.

### 1.2.1 Los pasivos ambientales mineros (PAM).

Son 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. Cuando un área minera es abandonada sin remediar los daños ambientales, y cuando estos daños son un riesgo para la población, entonces surge la obligación de realizar estudios para una posible remediación o de compensar a los afectados, tal como sucede con el drenaje subterráneo de agua del nivel 6 y del depósito de relave de la mina Paredones, que constituye un pasivo ambiental abandonado. En países como Chile, Perú y Bolivia esta obligación se conoce como Pasivos Ambientales Mineros (PAM) mientras que en otros países como Canadá, los EEUU este tipo de obligaciones se tratan como sitios huérfanos o como deudas ambientales. (Arango, 2012).

### 1.2.2 Generación de Drenaje Ácido de Mina (DAM)

Durante la explotación de determinados yacimientos (carbón, sulfuros metálicos, hierro, uranio y otros) quedan expuestos a la meteorización grandes cantidades de minerales sulfurosos que pueden llegar a formar drenajes ácidos. Para que esto tenga lugar son necesarias unas condiciones aeróbicas, es decir la existencia de cantidades suficientes de agua, oxígeno y simultáneamente la acción catalizadora de bacterias.

El proceso de oxidación de la pirita como principal responsable de la formación de aguas ácidas y, afirman que estas reacciones geoquímicas se aceleran en áreas mineras debido a que el aire entra en contacto con mayor facilidad con los sulfuros a través de las labores de acceso y la porosidad creada en las pilas de estériles y residuos, unido a ello el cambio de composición química y el incremento de la superficie de contacto de las partículas. También afirman que los procesos físicos, químicos y biológicos tienen gran influencia en la generación, movilidad y atenuación de la contaminación ácida de las aguas, y los factores que más afectan a la generación ácida son el volumen, la concentración, el tamaño de grano y la

distribución de la pirita. Características y condiciones que se verificará si están presentes en el nivel 6 de la mina Paredones, como la presencia de pirita, que con los estudios geoquímicos permitirá determinar si al drenar el agua subterránea de este nivel existe la formación de aguas ácidas (Aduvire, 2006).

A partir del pH y el contenido de oxígeno y metales pesados hacen una clasificación de los drenajes de mina y lo agrupan en 5 tipos. Los drenajes de entornos mineros pueden ser ácidos o alcalinos, pueden degradar el hábitat acuático y cambiar la calidad de las aguas debido a su toxicidad, corrosión y otros efectos producidos por la disolución de sus constituyentes. Por lo general tienen unos valores de pH entre 2 a 9, contienen cationes y aniones en disolución (de <1 a 100.000 mg/l), predominando elevadas concentraciones de SO, Fe, Mn y Al, y en menor proporción Ca, Na, K, Mg y otros elementos. (Aduvire, 2006).

Un drenaje es ácido cuando los minerales ácidos exceden a los alcalinos, puede contener elevadas concentraciones de SO, Fe, Mn, Al y otros iones, puede tener o no bajo pH, pero la presencia de Fe, Al y Mn disueltos pueden generar iones H<sup>+</sup> por hidrólisis (alta concentración iones H<sup>+</sup>), y bajar el pH. En cambio en los drenajes de mina neutros o alcalinos (alcalinidad igual o mayor que acidez) también pueden tener elevadas concentraciones de SO<sub>4</sub>, Fe, Mn y otros solutos, pero la disolución de los minerales carbonatados neutralizan la acidez y remueven Fe, Al y otros iones metálicos, y sin embargo no afecta significativamente la concentración de SO<sub>4</sub>.

En drenajes ácidos el anión principal es el SO<sub>4</sub> y los cationes mayoritarios son Fe, Mn y Al. En cambio en drenajes alcalinos el HCO<sub>3</sub> es más significativo que el SO<sub>4</sub> y los contenidos de Ca, Mg y Na son más elevados que los de Fe y Al. Elementos que con los muestreos, análisis geoquímicos identificaremos qué metales se encuentran más concentrados y la reacción respecto de esto para el pH.

### **1.2.2.1 Etapas del proceso minero en donde se produce el Drenaje Ácido de Mina (DAM):**

En la actualidad, para la extracción y aprovechamiento de minerales, la minería hace uso de diversas etapas: exploración, modelamiento, extracción o explotación, concentración (incluido el proceso de desecho de residuos), cierre, etc., todas estas etapas modifican de alguna forma la disposición natural de los minerales en el ecosistema. Al ser extraídos, principalmente los sulfuros, son liberados al medio ambiente y dispuestos a las reacciones de oxidación junto al agua y al oxígeno, factores que aceleran la generación de drenaje ácido de mina (DAM) o aguas ácidas.

Los residuos dejados por las operaciones de concentración de minerales, principalmente flotación, pueden entrar en contacto con los medios naturales de agua y aire, ya sea a través de mezclas del agua usada para los procesos de concentración o a través de los relaves depositados en las canchas o relaveras de las minas en operación o ya cerradas / abandonadas, caso el depósito de relave de Paredones. Estos residuos o relaves al reaccionar con el medio ambiente natural desencadenan reacciones de oxidación y producen también el fenómeno de drenaje ácido de mina (DAM), contaminando las aguas próximas a estos botaderos, como sucede actualmente en el Río San Pablo.

Los depósitos de relave dejados por una mina antigua sin Plan de cierre, influye en la formación de DAM, ya que las estructuras antiguas podrían ceder y las responsabilidades por estos daños ambientales terminan sin ser asumidos por los responsables. Al mezclarse el relave con las aguas cercanas a estas presas cerradas, se produce la aparición de aguas ácidas que terminan contaminando las descargas aledañas, como los Ríos.

### **1.2.2.2 Predicciones de la generación del potencial ácido:**

Los procedimientos de predicción del potencial ácido generador en zonas mineras comprenden las siguientes acciones:

- Comparación con minas similares y vecinas.
- Muestreo sistemático para recojo de muestras representativas
- Pruebas Geoquímicas sobre las muestras.
- Modelado y simulación de los procesos ácido generadores.

La predicción de la generación ácida mediante comparación aproximada con otras minas supone que todos los factores que tienen influencia en los procesos de generación ácida son casi idénticos en dichas minas. Aunque por lo general es raro el caso en que los depósitos minerales, así como la roca caja, las alteraciones y el tipo de mineralización sean iguales. A gran escala, la comparación sobre una amplia región geográfica es probablemente insegura, dado que varían los factores no geológicos que afectan la generación ácida, así como el clima y la fisiografía. (Alfaro, 2013)

Los metales tienden a disolverse y moverse más fácilmente en las aguas ácidas asociadas con DAM. Para muchos tipos de rocas, el lixiviado de los metales solo es significativo si el nivel de ácido baja a menos de 5.5 ó 6 en la escala pH. Sin embargo, esto no es necesariamente el caso para elementos como el molibdeno, zinc, cadmio, antimonio y arsénico, que pueden permanecer solubles en valores pH naturales o alcalinos. Transportados por el agua, los metales viajan grandes distancias, resultando en la contaminación de corrientes de agua de manantiales y agua subterránea. Cuando los metales están en una forma disuelta, son absorbidos más rápidamente y acumulados en la vida animal, y son por lo general, más tóxicos que cuando están en su forma sólida.

La contaminación por metales pesados es causada cuando algunos metales como el arsénico, el cobalto, el cobre, el cadmio, el plomo, la plata y el zinc, contenidos en las rocas excavadas o expuestos en vetas en una mina subterránea, entran en contacto con el agua. Los metales son extraídos y llevados río abajo, mientras el agua lava la superficie rocosa. Aunque los metales pueden ser movidos en condiciones de pH

neutral, la lixiviación es particularmente acelerada en condiciones de pH bajo, tales como las creadas por el drenaje ácido de mina.

### **1.2.3 Relaves Mineros.**

Es el desecho sólido de tamaño entre arena y limo provenientes del proceso de concentración que son producidos, transportados o depositados en forma de lodo, son desechos tóxicos subproductos de procesos mineros y concentración de minerales. (Anicama, 2008).

Los depósitos de relaves mineros abandonados, a través de los procesos fluviales naturales, crean descarga directa del relave transportando elementos metálicos que en muchos casos son contaminantes de riachuelos y ríos, por ello es importante un estudio, con la medición de las propiedades geoquímicas del agua que discurre de un relave abandonado en tiempo de lluvia, lo que permitirá determinar si causa contaminación al río que desemboca.

### **1.2.4 Estándar de Calidad Ambiental (ECA)**

Los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) establecidos por el MINAM, fijan los valores máximos permitidos de contaminantes en la descarga a los cuerpos receptores en el ambiente. El propósito es garantizar la conservación de la calidad ambiental mediante el uso de instrumentos de gestión ambiental sofisticados y de evaluación detallada. (Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM, 2015)

El objetivo de 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, es que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni para el ambiente. Este parámetro fue creado para ser utilizado en minas en actividad, sin embargo en nuestro país las minas que aún estaban en funcionamiento y no contaban con un Plan de Cierre de Minas fueron alcanzadas por el PAMA (Plan de Adecuación y Manejo Ambiental). El PAMA se estableció para empresas que iniciaron sus actividades antes de que la legislación en materia ambiental fuera promulgada. El PAMA permitía establecer las acciones más adecuadas

para la adecuación individual de las industrias en operación a la normativa ambiental. Este Plan fue creado para identificar las acciones que se compromete a desarrollar una industria en un espacio de tiempo determinado a fin de que sus residuos, emisiones, efluentes se hallen dentro de los parámetros de calidad ambiental establecidos en la legislación vigente. Pero nuestra legislación no establece parámetros para minas abandonadas, con los que se debe medir 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 que es relevante para identificar si los residuos de las minas abandonadas generan contaminación en los Ríos. La ley no prohíbe utilizar los parámetros del ECA y LMP para determinar si existe o no, concentraciones elevadas de los residuos de las Minas abandonadas y determinar si existe o no contaminación en los cuerpos receptores, como son los ríos, por ende se utilizará este parámetro en este trabajo de investigación.

### **1.2.5 Límites Máximos Permisibles (LMP)**

Es una medida de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetro físicos, químicos y biológicos, que caracterizan al efluente líquido o actividades minero – metalúrgicas, en las fuentes de emisión y que al ser excedida causa daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Estos límites están establecidos mediante el Decreto Supremo Nº 010-2010-MINAM para ser aplicados a todas las actividades minero – metalúrgicas que se desarrollen dentro del territorio nacional; sin embargo no hay límites máximos permisibles que estén determinados para los efluentes líquidos de las minas abandonadas, por tanto la ley tampoco prohíbe poder utilizar estos parámetros para poder determinar en este trabajo de investigación los niveles de concentración de los elementos o sustancias químicas en el efluente del nivel 6 de la Mina Paredones.

### **1.2.6 Comportamiento Pluviométrico.**

Es un instrumento informativo que describe el comportamiento hidrológico y meteorológico ocurrido en un determinado ámbito. (SENAMHI, 2015).

Por ello, con el documento hidrometeorológico Regional del Senamhi Cajamarca, se determina el comportamiento pluviométrico en un indicado mes en la zona de San Pablo, provincia de ubicación de la Mina Paredones, los m<sup>3</sup>/s en la zona de influencia, información que corresponde a la época del recojo de muestras de agua de acuerdo a nuestros objetivos en época de sequía y lluvia.

**Tabla 1: Comportamiento de la precipitación en San Pablo.**

Estación Meteorológica	Precipitación			
	Acumulado Mensual (mm)	Días de Precipitación	Máximo en horas (mm)	Mes y año de Ocurrencia
San Pablo	0.0	0	0.0	Julio - 2015
San Pablo	107.8	15	23.8	Diciembre - 2015
San Pablo	-	-	-	-

Fuente: Elaboración Propia.

### 1.3 Definición de términos básicos.

- **Arena.**

Material de grano fino procedente de la denudación de las rocas o de su trituración artificial, y cuyas partículas varían entre 2 mm y 0.05 mm de diámetro. (Villalaz, 2008).

- **Bocamina.**

Es el espacio físico por donde se hace el ingreso a una mina subterránea. Se puede decir que es el límite entre el espacio exterior y el espacio interior donde se realizan las actividades mineras de explotación de minerales. Sus características están en función del tamaño (ancho x alto) que le dan facilidades para los accesos de los trabajadores, los equipos de transporte para la extracción del mineral y/o los camiones. (FONAM, 2006)

- **Contaminación ambiental.**

Se define como la presencia de sustancias, energía u organismos extraños en un ambiente determinado en cantidades, tiempo y condiciones tales que causen desequilibrio ecológico. (Arellano, 2001).

- **Depósito de Relave o Relavera.**

Es el área ocupada por los materiales (de grano fino) sin valor, que se obtiene, como producto de los procesos de concentración de minerales, estos relaves se han dispuesto en forma de pulpa, eliminando el agua después de la sedimentación de los sólidos. Su disposición exige generalmente la construcción de una presa de sostenimiento, la misma que por lo general se construye con el mismo material grueso que está contenido en la pulpa. (FONAM, 2006).

- **Drenaje De Rocas Ácidas.**

El drenaje de roca ácida (DRA) es un proceso natural a través del cual el ácido sulfúrico se produce cuando los sulfatos de las rocas son expuestos al aire libre o al agua. El drenaje de la minería ácida (DAM) es esencialmente el mismo proceso, solo que magnificado. Cuando las grandes cantidades de roca que contienen minerales sulfatados, son excavadas en tajo abierto o en vetas en minas subterráneas, estos materiales reaccionan con el aire o con el agua para crear ácido sulfúrico. Cuando el agua alcanza cierto nivel de acides, un tipo de bacteria común llamada “Tiobacilus Ferrooxidante”, puede aparecer acelerando los procesos de oxidación y acidificación, lixiviando aún más los residuos de metales de desecho.

El ácido lixiviará la roca mientras que la roca fuente este expuesta al aire y al agua. Este proceso continuará hasta que los sulfatos sean extraídos completamente; este es un proceso que puede durar cientos, o quizás miles de años. El ácido es transportado desde la mina por el agua, las lluvias o por corrientes superficiales, y posteriormente depositado en los estanques de agua, arroyos, ríos, lagos y mantos acuíferos cercanos. El DAM degrada severamente la calidad del agua y puede aniquilar la vida acuática, así como volver el agua prácticamente inservible. (Aduvire, 2006).

- **Efluente.**

Desechos líquidos o gaseosos, tratados o no, generados por diversas actividades humanas que fluyen hacia sistemas colectores o directamente a los cuerpos receptores. Comúnmente se habla de efluentes refiriéndose a los desechos líquidos. (SIAN, 2016)

- **Estabilidad Física.**

Comportamiento estable en el corto, mediano y largo plazo de los componentes o residuos mineros frente a factores exógenos y endógenos, que evita el desplazamiento de materiales con el propósito de no generar riesgos de accidentes o contingencias para el ambiente y para la integridad física de las personas y poblaciones y de las actividades que éstas desarrollan. (D.S. N° 033-2005-EM, 2005).

- **Estabilidad Química.**

Comportamiento estable en el corto, mediano y largo plazo de los componentes o residuos mineros que, en su interacción con los factores ambientales, no genera emisiones o efluentes, cuyo efecto implique el incumplimiento de los estándares de calidad ambiental; i.e. eviten o controlen los riesgos de contaminación del agua, aire o suelos; efectos negativos sobre la fauna y flora, los ecosistemas circundantes o sobre la salud y seguridad de las personas. (D.S. N° 033-2005-EM, 2005).

- **Estándar de Calidad Ambiental (ECA).**

Es la concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, en el aire, agua o suelo en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni del ambiente. Dependiendo del parámetro en particular a que se refiere, la concentración o grado podrá ser expresado en máximos, mínimos o rangos.

El ECA son cantidades establecidas por las instituciones gubernamentales que regulan al respecto. (Arellano, 2001).

- **Limos.**

Es el material cuyas partículas está comprendido entre 0.05 mm y 0.005 mm, son suelos con poca o ninguna plasticidad. (Villalaz, 2008).

- **Límite Máximo Permisible (LMP).**

Es la concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o a una emisión, que al ser excedido causa o puede causar daños a la salud, bienestar humano y al ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente. Dependiendo del parámetro o grado de concentración que se refiera, la concentración o grado podrá ser expresado en máximos, mínimos o rangos. (Arellano, 2001).

- **Metal pesado.**

Metal de masa atómica relativa elevada, por ejemplo el plomo. En la literatura sobre la contaminación del aire, el término ha sido utilizado de manera más amplia para incluir en él metales como el cobre y el zinc e incluso elementos, como el arsénico y que no son metales. (Castro, 2011)

- **Muestra.**

Es una o más porciones de un volumen o masa representativa definida, colectadas en cuerpos receptores de efluentes industriales, efluentes domésticos, redes de abastecimiento público, estaciones de tratamiento de aguas, etc., con el fin de determinar sus características físicas, químicas y/o biológicas. (Castro, 2011)

- **Muestreo.**

Es la actividad que consiste en coleccionar una muestra representativa, para fines de análisis y/o medición. Punto o estación de muestreo: Es el lugar predeterminado en un cuerpo receptor donde se colecciona una muestra. (Castro, 2011).

- **Pasivo Ambiental Minero (PAM).**

Son aquellas instalaciones, efluentes, emisiones, restos o depósitos de residuos producidos por operaciones mineras, en la actualidad abandonada o que constituyen un riesgo permanente y potencial para la salud de la población, el ecosistema circundante y la propiedad. (Ley N° 28271, 2004).

La denominación "pasivo ambiental minero" hace referencia a los impactos ambientales generados por las operaciones mineras abandonadas con o sin dueño u operador identificables y en donde no se hayan realizado un cierre de minas reglamentado y certificado por la autoridad correspondiente (CEPAL, 2008).

- **Pasivo Ambiental Minero Abandonado.**

Pasivos que se encuentran localizados fuera de una concesión vigente a la fecha de entrada en vigencia de la Ley. (D.S. N° 059-2005-EM, 2005).

- **Permeabilidad.**

Es la capacidad que tiene un material de permitirle a un flujo que lo atraviese sin alterar su estructura interna. Se afirma que un material es permeable si deja pasar a través de él una cantidad apreciable de fluido en un tiempo dado, e impermeable si la cantidad de fluido es despreciable. (Wikipedia, 2016).

- **pH.**

Es el logaritmo de la recíproca de la concentración de ion hidrogeno en una sustancia o medio. La escala del pH en los sistemas de agua varía de 0 a 14; las soluciones ácidas tienen un pH menor a 7, las soluciones básicas tienen un pH superior a 7 y las neutras uno cercano a 7. La concentración del hidrogeno puede ser medida con un pHmetro o papeles tornasol. (Mihelcic, 2008).

- **Socavón.**

Galería de acceso desde el exterior horizontal con pendiente de drenaje. (Carranza, 2016)

- **Sulfuro.**

Es la combinación del azufre (número de oxidación -2) con un elemento químico o con un radical. (Wikipedia, 2016).

- **Sulfato.**

Son las sales o los ésteres del ácido sulfúrico. (Wikipedia, 2016).

## **CAPÍTULO 3. HIPÓTESIS.**

### **3.1 Formulación de la Hipótesis.**

Midiendo las propiedades geoquímicas del drenaje de agua subterránea del nivel 6 y relave del pasivo ambientales de la Mina Paredones, determinan que sí existe contaminación en el río San Pablo.

### **3.2 Variables**

#### **2.4.1 Variable Dependiente:**

- Contaminación en el río San Pablo.

#### **2.4.2 Variable Independiente:**

- Propiedades geoquímicas del drenaje de agua subterránea del nivel 6 de la Mina Paredones.
- Propiedades geoquímicas del relave como pasivo ambiental de la Mina Paredones.

#### **2.4.3 Operacionalización de variables.**

**Tabla 2: Operacionalización de las variables.**

	VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES Y SUB INDICADORES
INDEPENDIENTE	<ul style="list-style-type: none"> <li>Propiedades geoquímicas del drenaje de agua subterránea del nivel 6 de la Mina Paredones.</li> <li>Propiedades geoquímicas del relave como pasivo ambiental de la Mina Paredones.</li> </ul>	La medición de las propiedades geoquímicas es el informe donde se destacan los minerales presentes en una muestra de mineral y/o el presente analítico de los metales presentes en una muestra sólida o líquida	Para obtener la concentración de elementos pesados y valores de pH, es necesario muestrear en el fuente del desecho minero donde se origina el drenaje de agua subterránea, la escorrentía del relave y su injerencia en el Río San Pablo, los cuales en conjunto manifestarán su concentración y ph	Concentración	%
					ppm
					mg/l
			pH	1 al 14	
DEPENDIENTE	Contaminación en el río San Pablo.	El grado de contaminación se determinará con la concentración elevada o no, de los metales pesados que son un grupo de elementos químicos que presentan una densidad alta. Son en general tóxico para los seres humanos y entre los más susceptibles de presentarse en el agua, destacamos mercurio, níquel, cobre, plomo y cromo	Son los resultados de la caracterización geoquímica del drenaje de agua subterránea del nivel 6, de la escorrentía del relave, y su injerencia en el Río San Pablo, del laboratorio analítico del Gobierno Regional de Cajamarca y de INGECONSULT & LAB SRL los cuales sirven para tomar decisiones y compararlos con LMP y ECA	Límites Máximos Permisibles	Arsénico: $\leq 0.1$ mg/L
					Cobre: $\leq 0.5$ mg/L
					Plomo: $\leq 0.2$ mg/L
					Zinc: $\leq 1.5$ mg/L
					Hierro: $\leq 2$ mg/L
				pH: 6-9	
				Estandares de Calidad Ambiental - Categoría 3	Arsénico: D1: $\leq 0.1$ mg/L, D2: $\leq 0.2$ mg/L
					Cobre: D1: $\leq 0.2$ mg/L, D2: $\leq 0.5$ mg/L
					Plomo: D1: $\leq 0.05$ mg/L, D2: $\leq 0.05$ mg/L
					Zinc: D1: $\leq 2$ mg/L, D2: $\leq 24$ mg/L
Hierro: D1: $\leq 5$ mg/L					
pH: D1 $\geq 6.5$ y $\leq 8.5$ ; D2: $\geq 6.5$ y $\leq 8.4$					

Fuente: Elaboración Propia.

## **CAPÍTULO 4. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **4.1 Tipo de diseño de investigación.**

El tipo de investigación utilizada en el presente estudio es No Experimental, con diseño longitudinal porque recaban datos en diferentes puntos del tiempo (época de sequía y época de lluvia), para realizar inferencias acerca de la evolución, sus causas y sus efectos. (Hernández, 2010).

### **4.2 Materiales de Estudio.**

#### **4.2.1 Unidad de estudio.**

- Una muestra del agua del río san Pablo 500 metros aguas arriba del efluente del drenaje de agua de mina subterránea del nivel 6.
- Una muestra líquida del drenaje de agua subterránea del nivel 6 a 500 m dentro de la galería.
- Una muestra del agua del río san Pablo frente al nivel 6.
- Una muestra líquida de la escorrentía del relave.
- Una muestra del agua del río san Pablo 500 metros aguas abajo del efluente del drenaje de agua de subterránea del nivel y pasando el depósito de relave.

#### **4.2.2 Población.**

Drenaje ácido de labores subterráneas y relaves de flotación como pasivo ambiental de la Mina Paredones, distrito san Bernardino provincia San Pablo y departamento Cajamarca.

#### **4.2.3 Muestra.**

Se realizará un muestreo tanto en tiempo de sequía como en lluvia de:

- Muestra del agua del río San Pablo 500 m aguas arriba del efluente del drenaje de agua subterránea del nivel 6.
- Muestra líquida del drenaje de agua subterránea a 500 m dentro de la galería del nivel 6 de la Mina Paredones por donde discurre este desecho.
- Muestra del agua del río san Pablo frente al nivel 6.

- Muestra líquida de la escorrentía del relave.
- Muestra del agua del río San Pablo 500 m aguas abajo pasando el depósito de relave.

**Figura1: Puntos de Muestreo.**



**Fuente: Elaboración Propia.**

Para establecer el método de recolección de las muestras que evidencie cómo se obtuvo, y sirva para ser contrastada, se usó como guía el método de investigación para programas de monitoreo de las empresas formales, que consiste en:

- Ubicación de fuentes de contaminación ambiental de origen minero, principalmente las correspondientes a minas abandonadas.
- Determinar los constituyentes relativos a las cargas causadas por las fuentes de contaminación en las aguas superficiales.
- Obtención de muestras para determinar características cualitativas del Impacto Ambiental en las áreas de cultivo.

Obtención de datos e información de respaldo para el planeamiento de medidas de remediación. (CESEL S.A., 1998).

### 4.3 Técnicas, procedimientos e instrumentos.

#### 4.3.1 Para recolectar datos.

– **Primaria.**

- Observaciones directas en terreno.
- Toma de muestras y análisis geoquímico.

– **Secundaria.**

- Recolección de datos, manuales, copias, planos de ubicación, localización de la zona, planos topográficos, carta geográfica, geológica del yacimiento minero, planos de explotación.

#### 1. Procedimiento.

Las muestras de agua que drenan del nivel 6, del agua que fluye de la escorrentía del relave, y del mismo Río San Pablo se colocarán en unas botellas plásticas previamente esterilizadas, etiquetadas, acondicionadas con unas gotas de HCl para su conservación y dejadas en un cooler con hielo, las que inmediatamente serán enviadas al laboratorio Analítico del Gobierno Regional de Cajamarca para el análisis respectivo con el equipo de espectrofotometría de absorción atómica, el cual cuenta con la acreditación de acuerdo a la norma NTP-ISO/IEC 17025 “Requisitos Generales de Competencia de Laboratorios de Ensayo y Calibración”. Versión 2006, que comprende entre sus tipos de ensayo *Metales por ICP-OES* (As, Cu, Fe, Pb, Zn entre otros) y el *Potencial de Hidrógeno* (pH) a 25°.

#### 2. Materiales.

- Libreta de Campo.
- Fotocopias.
- USB.
- Laptops.
- Papel A4.
- Lapiceros.
- Bolsas plásticas para recolectar muestras.
- Botellas de plástico para muestras líquidas.

- Etiquetas de identificación.
- Ácido clorhídrico diluido para conservación de muestras líquidas.
- Hielo para conservación de la muestra.
- Caja de tecnopor para traslado de la muestra.
- GPS Garmin.
- Cámara fotográfica.
- EPP (casco, lentes, guantes, chaleco, zapatos de seguridad)
- Picota.
- Linterna.

#### **4.3.2 Para analizar información.**

- Para la determinación del pH: se determinó por el laboratorio a través del método de valor electrométrico, y también con el indicador del papel de tornasol.
- Para determinación de metales pesados disueltos: el laboratorio Regional de Agua acreditado por el INACAL, utiliza para su determinación de metales y elementos traza en el agua y los desechos por plasma el método inductivo de espectrometría de absorción atómica, cuyos resultados son evaluados en el capítulo de Resultados.
- Para el análisis de muestras se tomó en dos grupos, las muestras de agua del río San Pablo (500m aguas arriba de la bocamina del nivel 6, frente a la bocamina y 500m pasando el depósito de relave), y las muestras de agua dentro de la galería del nivel 6 y de la escorrentía del relave, analizados en dos momentos en tiempo de sequía y en tiempo de lluvia, discriminado de esta manera para poder evaluarlos respecto a los Límites Máximos Permisibles y a los Estándares de Calidad Ambiental-Categoría 3.
- Técnicas Estadísticas: El proceso de tabulación, gráficos y presentación de los resultados se efectuó con principios estadísticos realizados en forma progresiva buscando obtener de las mediciones realizadas en laboratorio, cuadros comparativos de los resultados con las escalas de valores aprobadas del Estándar de Calidad Ambiental y de la Ley General de Aguas, así obtener tabla de frecuencias, y resultados que determinen si los metales se

encuentran según lo permisible por estas escalas aprobadas según el D.S. N° 015-2015-MINAN y Decreto Ley N° 17752, contrastando la hipótesis planteada. Además los datos se recolectaron mediante las técnicas indicadas anteriormente, y serán sistematizados a través de herramientas informáticas como son las hojas de Excel y Word.

## CAPITULO 5. DESARROLLO

### 5.1 Ubicación de la mina Paredones.

- **Ubicación Política.**

Políticamente la Mina Paredones se ubica como se describe en la siguiente tabla:

**Tabla 3: Ubicación Política de la Mina Paredones.**

<b>REGIÓN</b>	Cajamarca
<b>PROVINCIA</b>	San Pablo
<b>DISTRITO</b>	San Bernardino

**Fuente: Elaboración Propia.**

La Mina Paredones, se encuentra ubicado a 4 km al norte de Chilete, camino a San Pablo, su clima es caluroso por ser región Yunga.

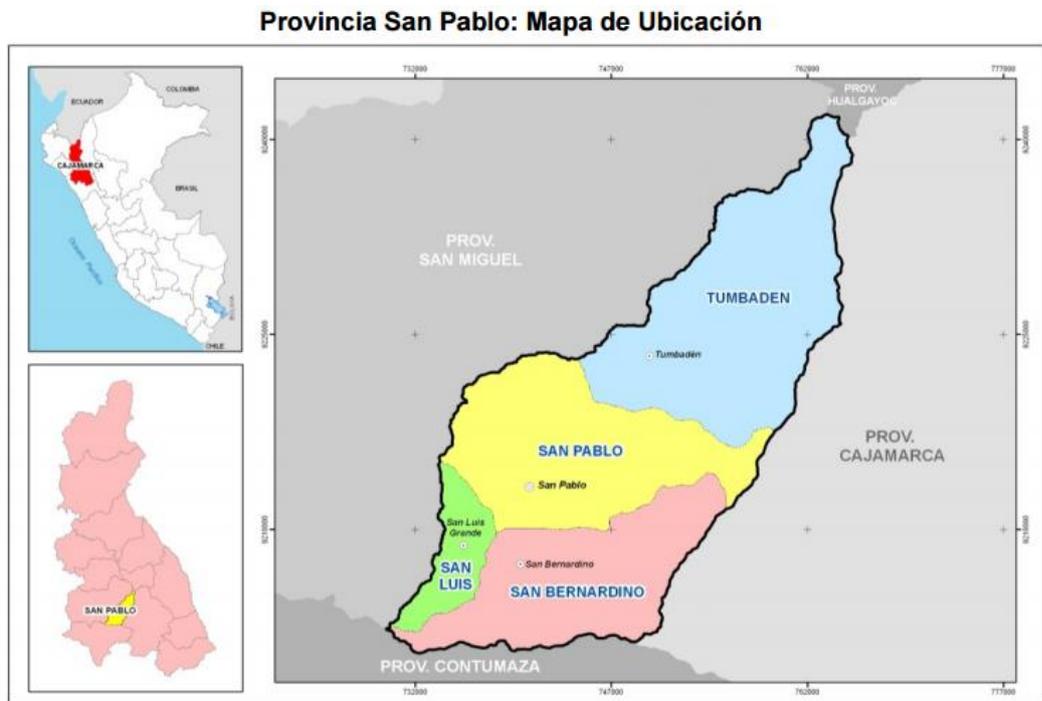
- **Ubicación Geográfica de la Provincia de San Pablo.**

La provincia de San Pablo se encuentra en el departamento de Cajamarca. Limita por el sur con la provincia de Contumazá, por el este con la provincia de Cajamarca y por el norte y noroeste con la provincia de San Miguel.

San Pablo tiene una superficie de 665.50 km<sup>2</sup>, ocupando el 2.02 % del departamento de Cajamarca, con una densidad demográfica de 35.33 hab/km<sup>2</sup>.

La provincia de San Pablo es la más pequeña del departamento de Cajamarca, y se encuentra dividida en cuatro distritos: San Pablo, San Bernardino, San Luis y Tumbadén.

**Figura 2: Mapa de Ubicación de la Provincia de San Pablo.**



**Fuente: Estudio de Diagnóstico y Zonificación de la Provincia San Pablo para el tratamiento de la demarcación y organización Territorial.**

- **Ubicación Geográfica de la Mina Paredones.**

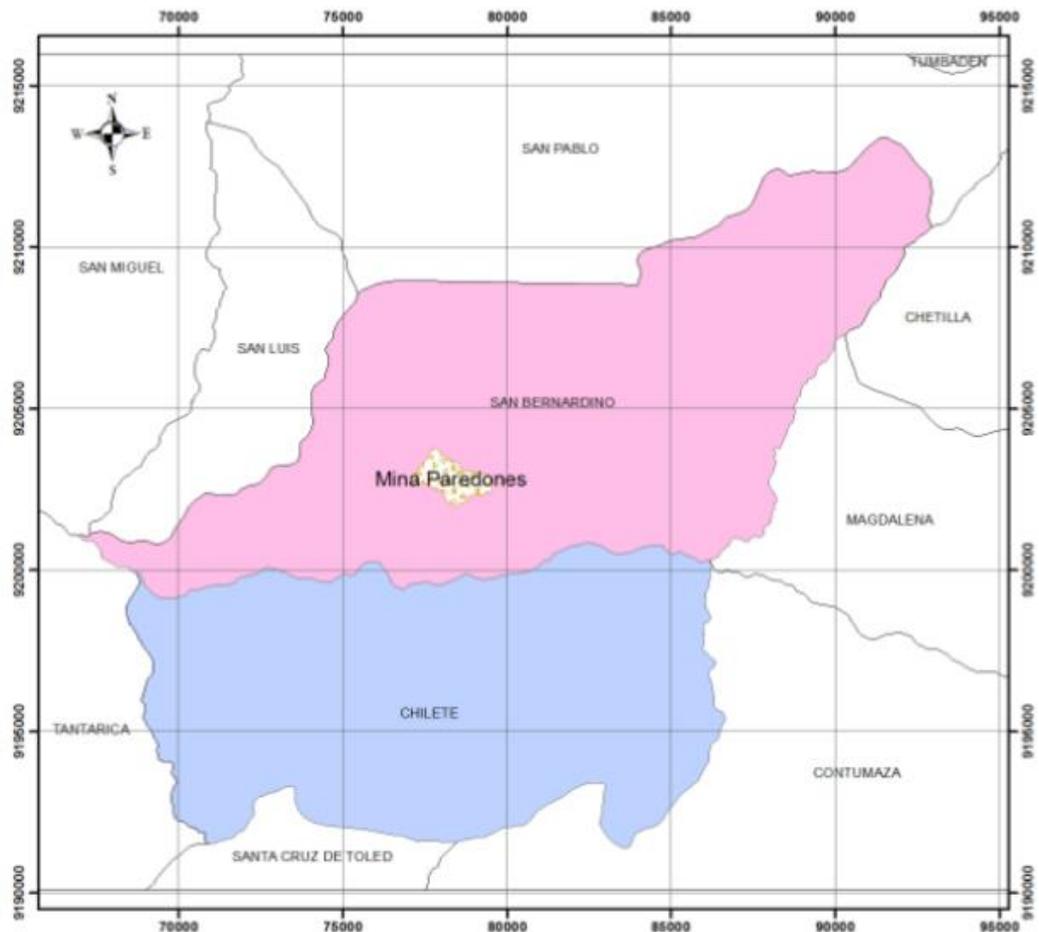
La Mina Paredones está ubicada en el distrito de San Bernardino, y éste se encuentra a una altitud de 1,360 m.s.n.m.

**Tabla 4: Ubicación Geográfica de la Mina Paredones.**

<b>LATITUD SUR</b>	7° 11' 18.3" S
<b>LONGITUD OESTE</b>	78° 49' 23.3" W
<b>ALTITUD</b>	944 msnm
<b>HUSO HORARIO</b>	UTC - 5

**Fuente: Elaboración Propia.**

**Figura 3: Ubicación Geográfica de la Mina Paredones.**



**Fuente: Elaboración Propia.**

## 5.2 Geología.

El yacimiento de minerales de la Mina Paredones, está situada al Oeste de la cordillera de los andes occidentales del Norte del Perú, caracterizándose por la presencia de relieves moderados a abruptos, de escasa vegetación y alturas que varían entre 1000 a 2800 m.s.n.m.

Geológicamente sobre la margen izquierda del río Magdalena existe una secuencia de rocas del periodo cretácico con rumbo Este Oeste, de buzamiento de 60° Norte, las rocas en la zona del yacimiento de minerales son volcánicas y del Terciario medio a superior las que han sido intruidas por las vetas de sulfuros.

La mineralización en la veta Murciélagos y en otras vetas que intersectan zonas de altas oxidaciones y alteraciones vistas en la superficie, son de

origen hidrotermal, meteórico y de contacto, las vetas de relleno de fracturas con sulfuros, están representadas por mineralización de Zn, Pb y Ag, en gangas de cuarzo, también están presentes las andesitas piritizadas. (Gallarday, 2005).

**Tabla 5: Clasificación de las rocas Igneas.**

ÍGNEAS	ÁCIDAS	DE GRANO GRUESO	-Granito - Diorita
		DE GRANO FINO	-Andesita - Riolita
	BÁSICAS	DE GRANO GRUESO	-Gabro
		DE GRANO FINO	-Basalto
	NO GRANULARES	-Pedernal-Obsidiana	

Fuente: Grupo Geotecnia (2010).

### 5.3 Antecedentes de la mina paredones.

Mina Paredones, fue explotada entre 1952 hasta 1968 produciendo Zn, Pb y Ag por el grupo ASARCO, grupo mexicano que formó parte de la Northern Perú Mining Corporation. La estratigrafía está marcada por dos eventos: cretácico de origen continental y marino, supra yacientes en discordancia angular por volcánicos del Grupo Calipuy.

La Mina Paredones, se encuentra en yacimientos epitermales de baja sulfuración, en el denominado corredor estructural de San Pablo-Purculla. Ubicado en la parte Oeste de la cordillera accidental con una orientación NW-SE. (Alva, 2015).

La unidad minera producía concentrado de Zinc + Plata, se puede indicar que el método empleado en la planta fue de Concentración por flotación. Este es un proceso de enriquecimiento de algunos minerales, en el cual el mineral es separado debido a procesos de reducción de tamaño (chancado y molienda) concentrando por un lado las partes del contenido útil, en tanto que el material sin valor (relave) es descartado. El objetivo es producir un material concentrado enriquecido de tonelaje reducido, con lo cual se ahorra el costo de transporte a la planta metalúrgica y se reduce el costo de tratamiento de ésta. Los procesos que integran la concentración son:

recepción de mineral, chancado, molienda, flotación y secado de concentrados.

El material extraído de esta mina era conducido en tren, pasando por el distrito de Chilete, hacia el puerto de Pacasmayo, siguiendo este proceso:

**Figura 4: Proceso para la concentración del mineral en la Mina Paredones.**



**Fuente: Elaboración Propia.**

## CAPÍTULO 6. RESULTADOS

### 6.1 Resultados de las propiedades geoquímicas en el Río San Pablo de la Concentración del As, Cu, Fe, Pb, Zn y pH para el tiempo de Sequía.

Los resultados de las propiedades geoquímicas determinados en los puntos de muestreo P1, P3, P5 (ver Figura N° 1) en el Río San Pablo en tiempo de sequía (frente a la Mina Paredones), tienen como instrumento de comparación a la Categoría 3 de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) aprobado por el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM.

**Tabla 6: Resumen de resultados geoquímicos en el Río San Pablo en tiempo de sequía.**

Punto de Muestra	Arsénico (As)	Cobre (Cu)	Hierro (Fe)	Plomo (Pb)	Zinc (Zn)	° pH a 25°C
500 m AGUAS ARRIBA ( P1)	0.040	0.200	0.300	0.100	0.030	7.9
FRENTE A LA BOCAMINA ( P3)	0.050	0.210	0.300	0.110	0.030	6.20
500 m AGUAS ABAJO ( P5)	0.030	0.210	0.240	0.100	0.028	6.7

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 7: Valores del Parámetro de comparación ECA – Categoría 3**

Parámetro	D.S N° 015-2015-MINAM	
	ECA CATEGORIA- 3	
	D1: Riego de cultivos de tallo alto y bajo	D2: Bebida de Animales
Parámetro	-	-
Arsénico (As)	0.1	0.2
Cobre (Cu)	0.2	0.5
Hierro (Fe)	5	
Plomo (Pb)	0.05	0.05
Zinc (Zn)	2	24
° pH a 25°C	6,5 - 8,5	6,5 - 8, 4

Fuente: Elaboración Propia.

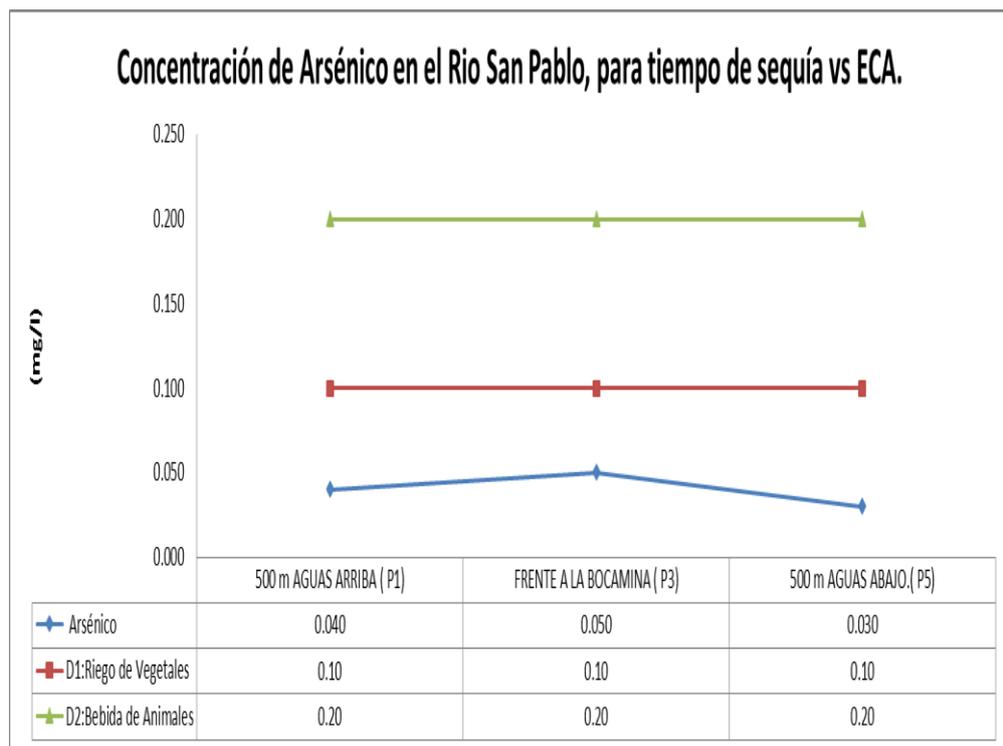
### 6.1.1 Resultados de la concentración del Arsénico (As) en el punto de muestreo P1, P3 y P5 en el Río San Pablo en tiempo de sequía, comparados con el ECA-Categoría 3

**Tabla 8: Resultado del As en P1, P3, P5 en el Río San Pablo en sequía, con el ECA.**

Punto de Muestra	Arsénico (As)	ECA - Categoría 3	
		D1:Riego de Vegetales	D2:Bebida de Animales
500 m AGUAS ARRIBA ( P1)	0.040	0.10	0.20
FRENTE A LA BOCAMINA ( P3)	0.050	0.10	0.20
500 m AGUAS ABAJO.( P5)	0.030	0.10	0.20

Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 5: Concentración del As en el Río San Pablo vs ECA-Categ. 3**



Fuente: Elaboración Propia.

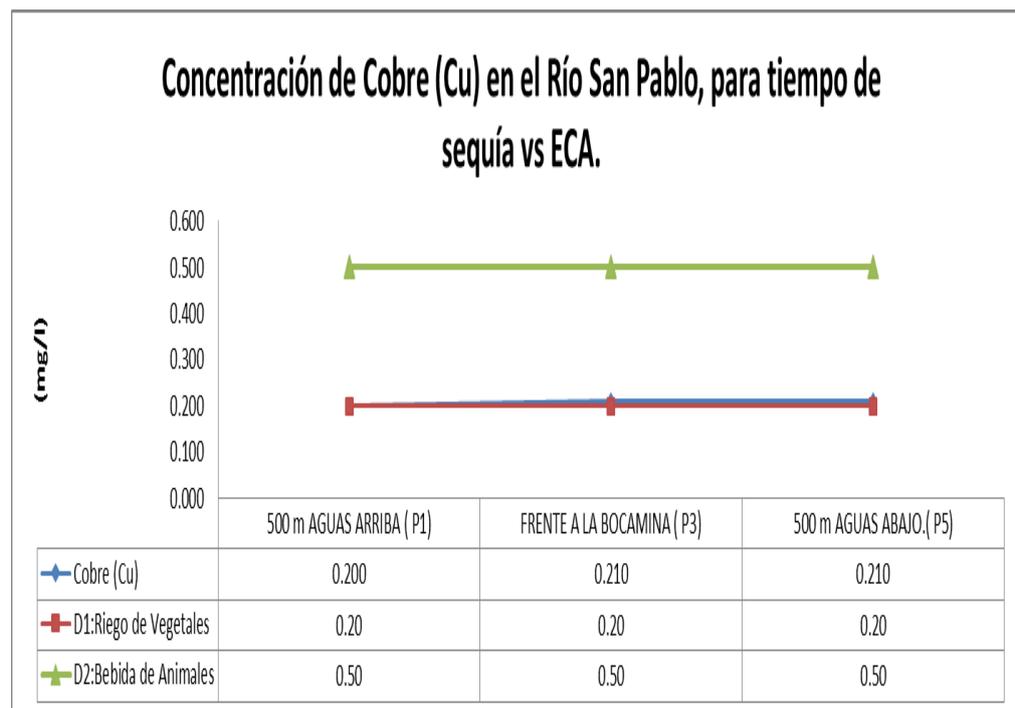
### 6.1.2 Resultados de la concentración de Cobre (Cu) en el punto de muestreo P1, P3 y P5 en el Río San Pablo en tiempo de sequía, comparados con el ECA-Categoría 3.

Tabla 9: Resultado del Cu en P1, P3, P5 en el Río San Pablo en sequía, con el ECA.

Punto de Muestra	Cobre (Cu)	ECA - Categoría 3	
		D1:Riego de Vegetales	D2:Bebida de Animales
500 m AGUAS ARRIBA ( P1)	0.200	0.20	0.50
FRENTE A LA BOCAMINA ( P3)	0.210	0.20	0.50
500 m AGUAS ABAJO.( P5)	0.210	0.20	0.50

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 6: Concentración del Cu en el Río San Pablo vs ECA-Categ. 3



Fuente: Elaboración Propia.

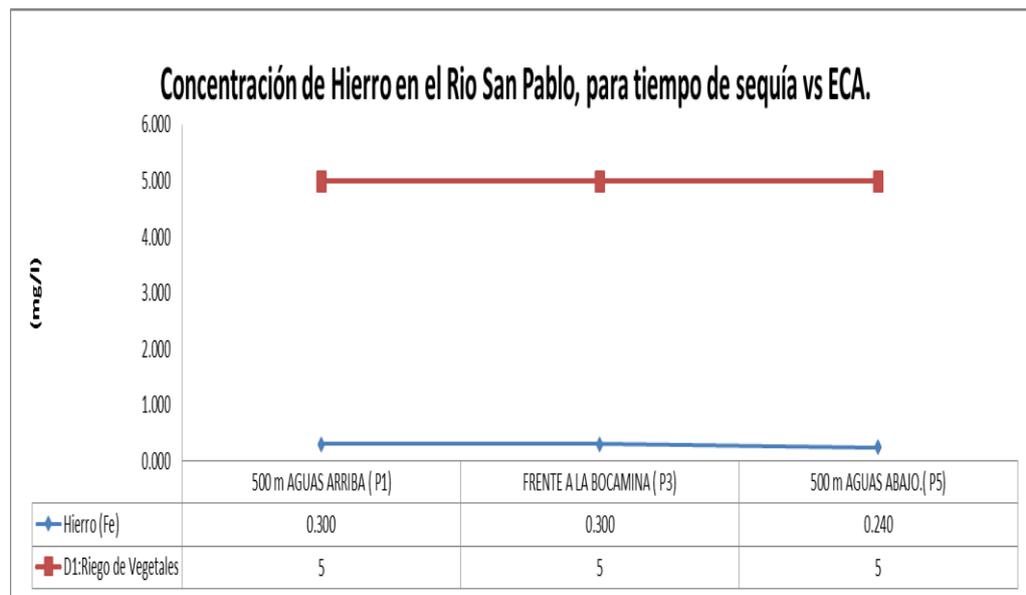
### 6.1.3 Resultados de la concentración de Hierro (Fe) en el punto de muestreo P1, P3 y P5 en el Río San Pablo en tiempo de sequía, comparados con el ECA-Categoría 3.

**Tabla 10: Resultado del Fe en P1, P3, P5 en el Río San Pablo en sequía, con el ECA**

Punto de Muestra	Hierro (Fe)	ECA - Categoría 3
		D1:Riego de Vegetales
500 m AGUAS ARRIBA ( P1)	0.300	5
FRENTE A LA BOCAMINA ( P3)	0.300	5
500 m AGUAS ABAJO.( P5)	0.240	5

Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 7: Resultado del Hierro (Fe) en el Río San Pablo vs ECA-Categ. 3**



Fuente: Elaboración Propia.

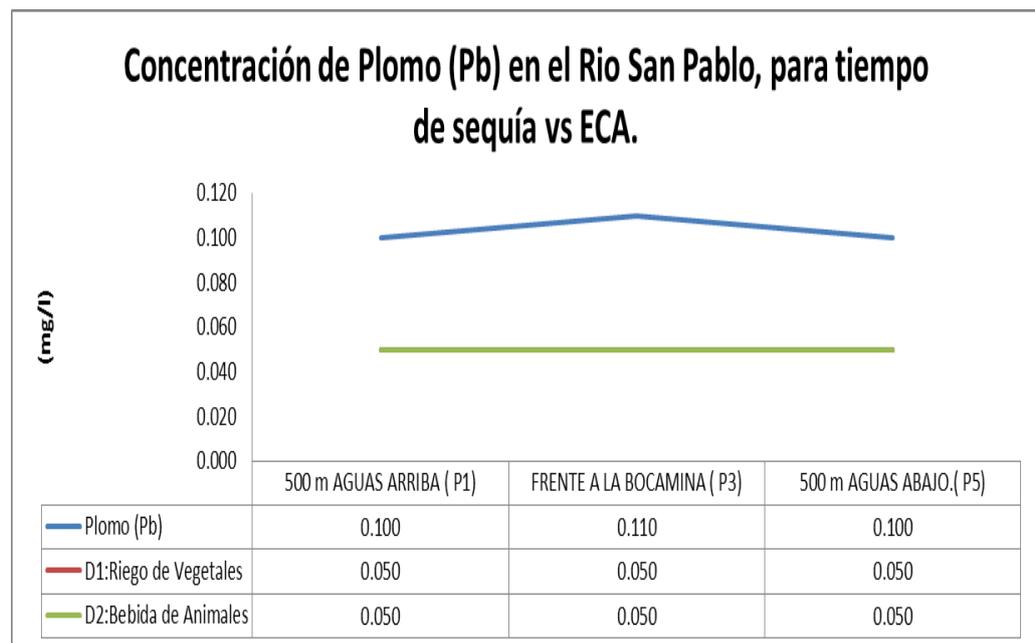
**6.1.4 Resultados de la concentración de Plomo (Pb) en el punto de muestreo P1, P3 y P5 en el Río San Pablo en tiempo de sequía, comparados con el ECA-Categoría 3.**

**Tabla 11: Resultado del Pb en P1, P3, P5 en el Río San Pablo en sequía, con el ECA**

Punto de Muestra	Plomo (Pb)	ECA - Categoría 3	
		D1:Riego de Vegetales	D2:Bebida de Animales
500 m AGUAS ARRIBA ( P1)	0.100	0.050	0.050
FRENTE A LA BOCAMINA ( P3)	0.110	0.050	0.050
500 m AGUAS ABAJO.( P5)	0.100	0.050	0.050

**Fuente: Elaboración Propia.**

**Figura 8: Resultado del Pb en el Río San Pablo vs ECA - Categ. 3**



**Fuente: Elaboración Propia.**

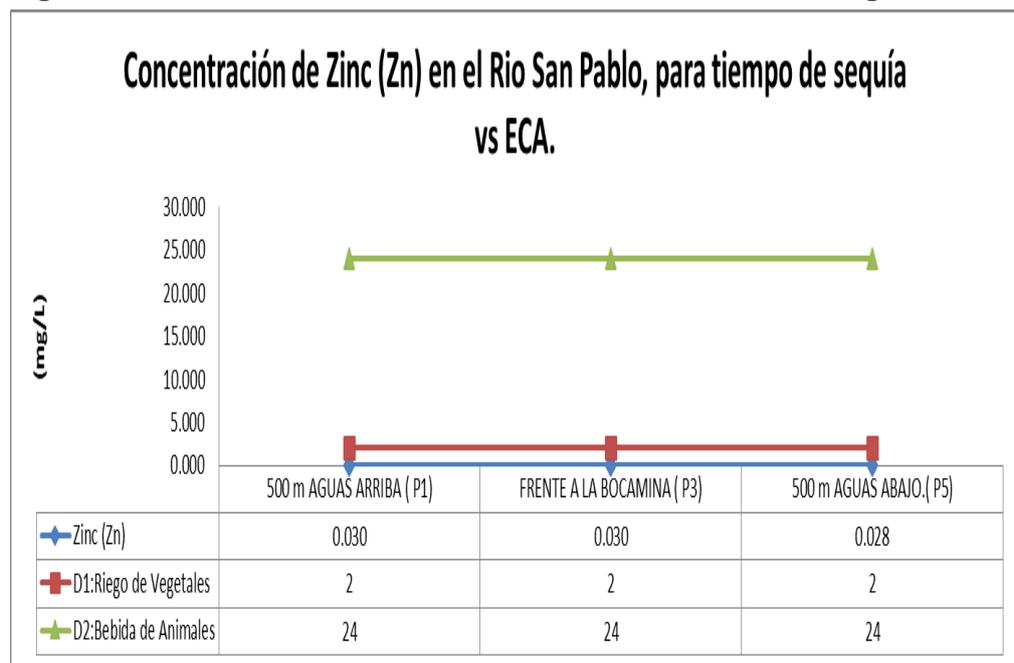
### 6.1.5 Resultados de la concentración de Zinc (Zn) en el punto de muestreo P1, P3 y P5 en el Río San Pablo en tiempo de sequía, comparados con el ECA-Categoría 3.

Tabla 12: Resultado del Zn en P1, P3, P5 en el Río San Pablo en sequía, con el ECA

Punto de Muestra	Zinc (Zn)	ECA - Categoría 3	
		D1:Riego de Vegetales	D2:Bebida de Animales
500 m AGUAS ARRIBA ( P1)	0.030	2	24
FRENTE A LA BOCAMINA ( P3)	0.030	2	24
500 m AGUAS ABAJO.( P5)	0.028	2	24

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 9: Resultado del Zn en el Río San Pablo vs ECA - Categ. 3



Fuente: Elaboración Propia.

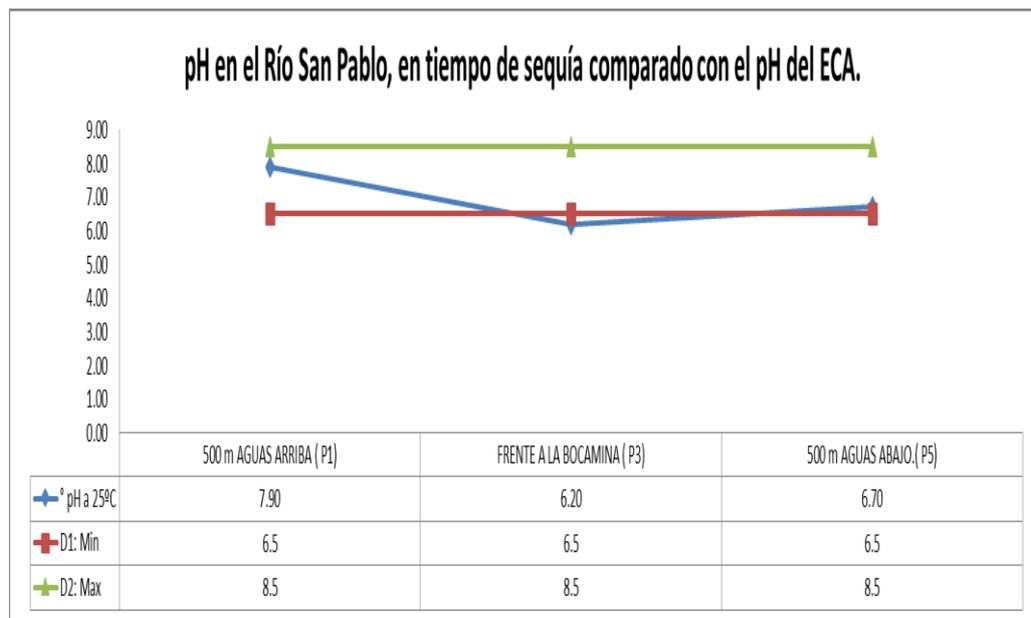
### 6.1.6 Resultados del pH en el punto de muestreo P1, P3 y P5 en el Río San Pablo en tiempo de sequía, comparados con el ECA-Categoría 3.

Tabla 13: Resultado del pH en P1, P3, P5 en el Río San Pablo en sequía, con el ECA

Punto de Muestra	° pH a 25°C	ECA - Categoría 3	
		D1:Riego de Vegetales	
		D1: Min	D2: Max
500 m AGUAS ARRIBA ( P1)	7.90	6.5	8.5
FRENTE A LA BOCAMINA ( P3)	6.20	6.5	8.5
500 m AGUAS ABAJO ( P5)	6.70	6.5	8.5

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 10: Resultado del pH en el Río San Pablo vs ECA - Categ. 3



Fuente: Elaboración Propia.

## 6.2 Resultados de las propiedades geoquímicas dentro del nivel 6, escorrentía del depósito de relave de la Mina Paredones del As, Cu, Fe, Pb, Zn y pH, para el tiempo de Sequía.

Los resultados de las propiedades geoquímicas del drenaje de agua subterránea del nivel 6 (P2), escorrentía del depósito de relave (P4) de la Mina Paredones en tiempo de sequía, se comparará con el Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM que aprueba los Límites Máximos Permisibles (LMP) para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero – Metalúrgicas.

**Tabla 14: Resultados geoquímicos dentro del nivel 6 (P2), escorrentía del depósito de relave (P4) en tiempo de sequía.**

Punto de Muestra	Arsénico (As)	Cobre (Cu)	Hierro (Fe)	Plomo (Pb)	Zinc (Zn)	° pH a 25°C
DENTRO DE LA GALERIA (P2)	1.179	0.000	30.20	0.015	8.153	4.5
DEPOSITO DE RELAVE ( P4)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

**Fuente: Elaboración Propia.**

**Figura 11: Valores del Parámetro de comparación con los LMP**

D.S. N° 010-2010-MINAM	
Límite Máximo Permissible Para descarga de efluentes líquidos de actividades minero - metalúrgicas	
Parámetro	cualquier
Arsénico (As)	0.1
Cobre (Cu)	0.5
Hierro (Fe)	2
Plomo (Pb)	0.2
Zinc (Zn)	1.5
° pH a 25°C	6-9

**Fuente: Elaboración Propia.**

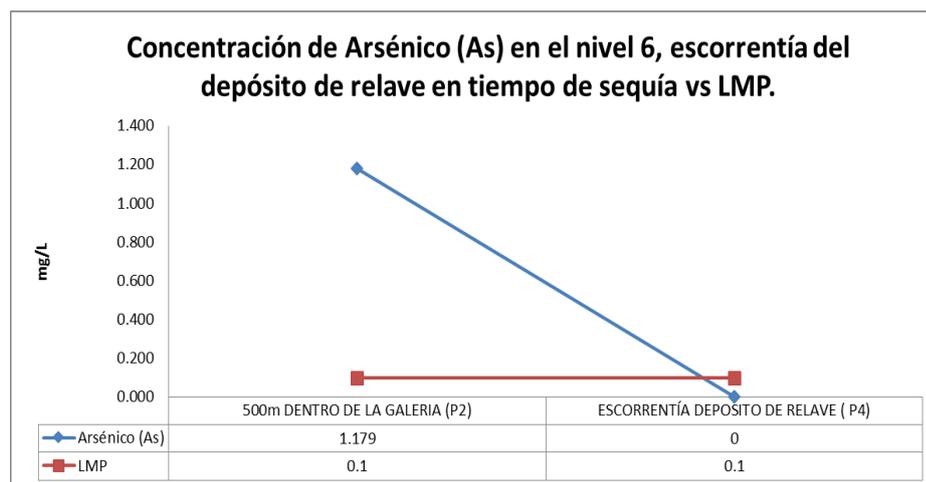
### 6.2.1 Resultado de concentración de Arsénico (As) en el nivel 6 (P2), escorrentía del depósito de relave (P4) en tiempo de sequía comparado con los Límites Máximos Permisibles (LMP).

Tabla 15: Resultado de concentración de Arsénico (As) en el punto de muestreo P2 y P4 en tiempo de sequía comparado con los LMP.

Punto de Muestra	Arsénico (As)	LMP
500m DENTRO DE LA GALERIA (P2)	1.179	0.1
ESCORRENTÍA DEPOSITO DE RELAVE ( P4)	0	0.1

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 12: Resultado de concentración de As en el punto de muestreo P2 y P4 en tiempo de sequía vs LMP.



Fuente: Elaboración Propia.

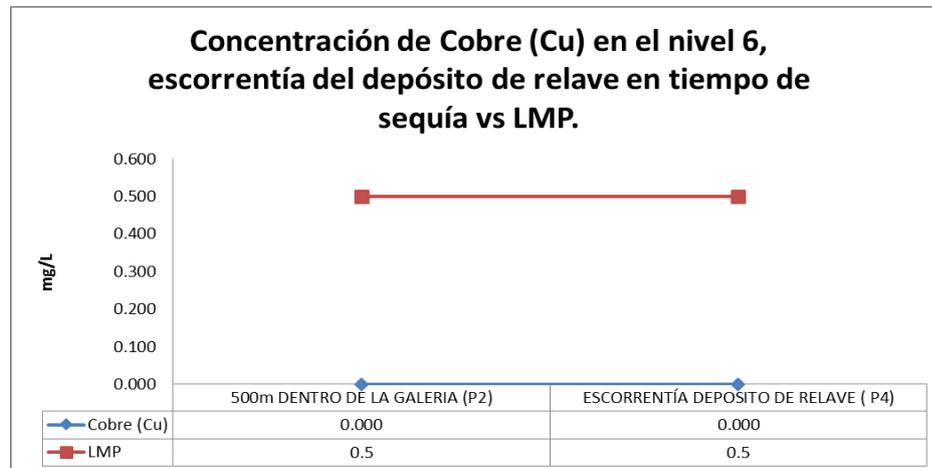
### 6.2.2 Resultado de concentración de Cobre (Cu) en el nivel 6 (P2), escorrentía del depósito de relave (P4) en tiempo de sequía comparado con los Límites Máximos Permisibles (LMP).

Tabla 16: Resultado de concentración de Cobre (Cu) en el punto de muestreo P2 y P4 en tiempo de sequía comparado con los LMP.

Punto de Muestra	Cobre (Cu)	LMP
500m DENTRO DE LA GALERIA (P2)	0.000	0.5
ESCORRENTÍA DEPOSITO DE RELAVE ( P4)	0.000	0.5

Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 13: Resultado de concentración de Cobre (Cu) en el punto de muestreo P2 y P4 en tiempo de sequía vs los LMP.**



Fuente: Elaboración Propia.

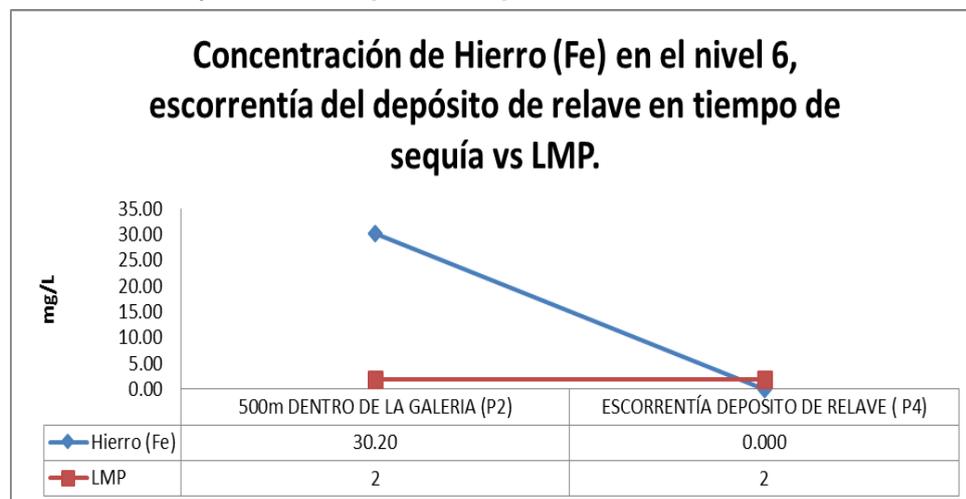
### 6.2.3 Resultado de concentración de Hierro (Fe) en el nivel 6, escorrentía del depósito de relave en tiempo de sequía comparado con los Límites Máximos Permisibles (LMP).

**Tabla 17: Resultado de concentración de Hierro (Fe) en el punto de muestreo P2 y P4 en tiempo de sequía comparado con los**

Punto de Muestra	Hierro (Fe)	LMP
500m DENTRO DE LA GALERIA (P2)	30.20	2
ESCORRENTÍA DEPOSITO DE RELAVE ( P4)	0.000	2

Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 14: Resultado de concentración de Hierro (Fe) en el punto de muestreo P2 y P4 en tiempo de sequía vs los LMP.**



Fuente: Elaboración Propia.

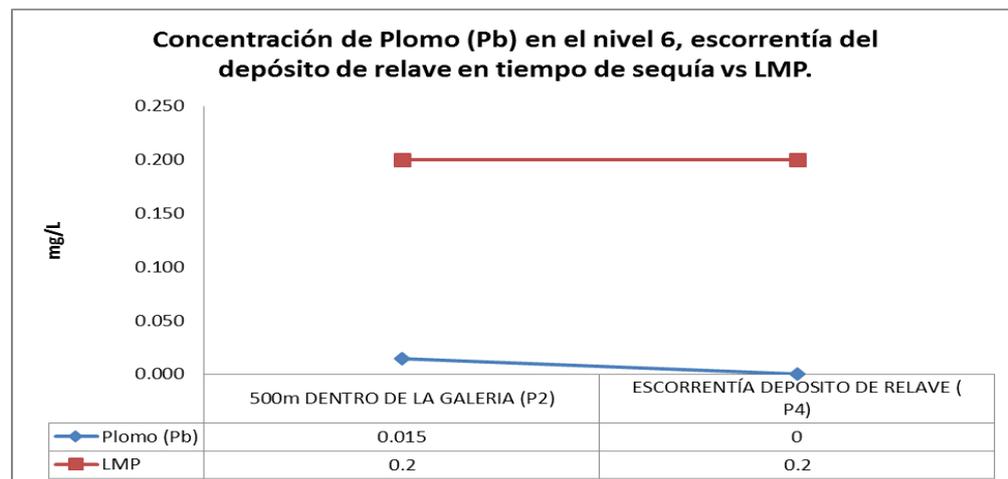
#### 6.2.4 Resultado de concentración de Plomo (Pb) en el nivel 6 (P2), escorrentía del depósito de relave (P4) en tiempo de sequía comparado con los Límites Máximos Permisibles (LMP).

Tabla 18: Resultado de concentración de Plomo (Pb) en el punto de muestreo P2 y P4 en tiempo de sequía comparado con los LMP.

Punto de Muestra	Plomo (Pb)	LMP
500m DENTRO DE LA GALERIA (P2)	0.015	0.2
ESCORRENTÍA DEPOSITO DE RELAVE ( P4)	0	0.2

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 15: Resultado de concentración de Plomo (Pb) en el punto de muestreo P2 y P4 en tiempo de sequía vs los LMP.



Fuente: Elaboración Propia.

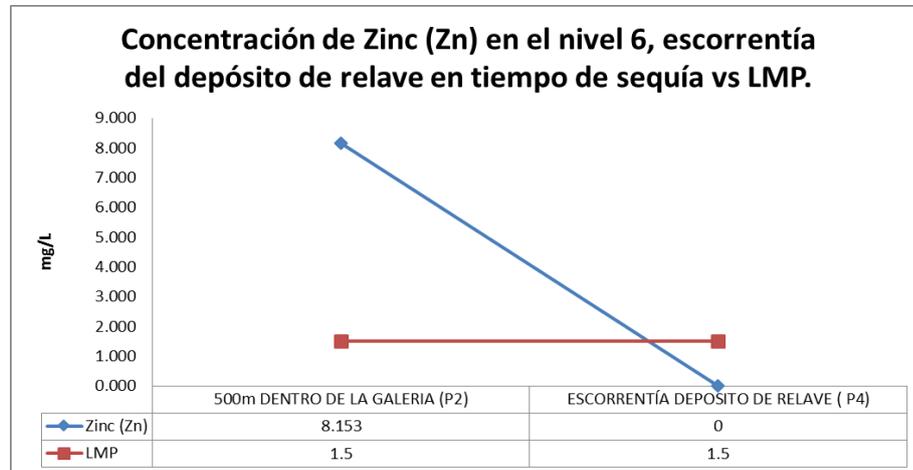
#### 6.2.5 Resultado de concentración de Zinc (Zn) en el nivel 6 (P2), escorrentía del depósito de relave (P4) en tiempo de sequía comparado con los Límites Máximos Permisibles (LMP).

Tabla 19: Resultado de concentración de Zinc (Zn) en el punto de muestreo P2 y P4 en tiempo de sequía comparado con los LMP.

Punto de Muestra	Zinc (Zn)	LMP
500m DENTRO DE LA GALERIA (P2)	8.153	1.5
ESCORRENTÍA DEPOSITO DE RELAVE ( P4)	0	1.5

Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 16: Resultado de concentración de Zinc (Zn) en el punto de muestreo P2 y P4 en tiempo de sequía vs los LMP.**



Fuente: Elaboración Propia.

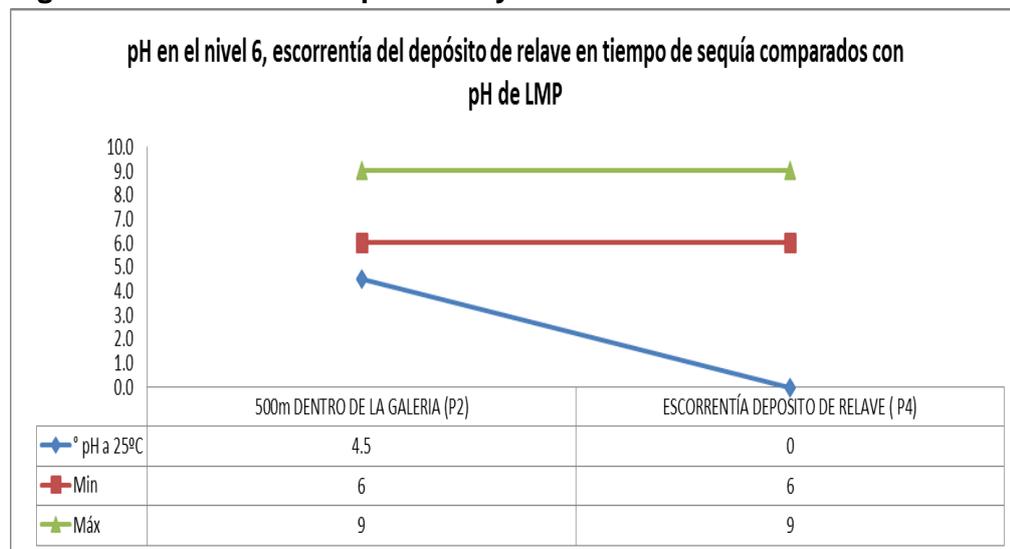
### 6.2.6 Resultado del pH en el nivel 6 (P2), escorrentía del depósito de relave (P4) en tiempo de sequía comparado con el pH de los Límites Máximos Permisibles (LMP).

**Tabla 20: Resultado del pH en P2 y P4 comparado con los LMP**

Punto de Muestra	° pH a 25°C	LMP	
		Min	Máx
500m DENTRO DE LA GALERIA (P2)	4.5	6	9
ESCORRENTÍA DEPOSITO DE RELAVE ( P4)	0	6	9

Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 17: Resultado del pH en P2 y P4 vs LMP**



Fuente: Elaboración Propia.

### 6.3 Resultados de las propiedades geoquímicas en el Río San Pablo del As, Cu, Fe, Pb, Zn y pH, para el tiempo de lluvia.

Los resultados de las propiedades geoquímicas determinados en los puntos de muestreo P1, P3, P5 (ver Figura N° 1) en el Río San Pablo en tiempo de lluvia (frente a la Mina Paredones), tienen como instrumento de comparación a la Categoría 3 de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) aprobado por el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAN.

**Tabla 21: Resumen de resultados geoquímicos en el Río San Pablo en tiempo de lluvia.**

Punto de Muestra	Arsénico (As)	Cobre (Cu)	Hierro (Fe)	Plomo (Pb)	Zinc (Zn)	° pH a 25°C
500 m AGUAS ARRIBA (P1)	0.012	0.001	0.283	0.005	0.015	8.49
FRENTE A LA BOCAMINA (P3)	0.015	0.001	0.283	0.006	0.015	8.58
500 m AGUAS ABAJO (P5)	0.009	0.000	0.226	0.005	0.014	6.00

**Fuente: Elaboración Propia.**

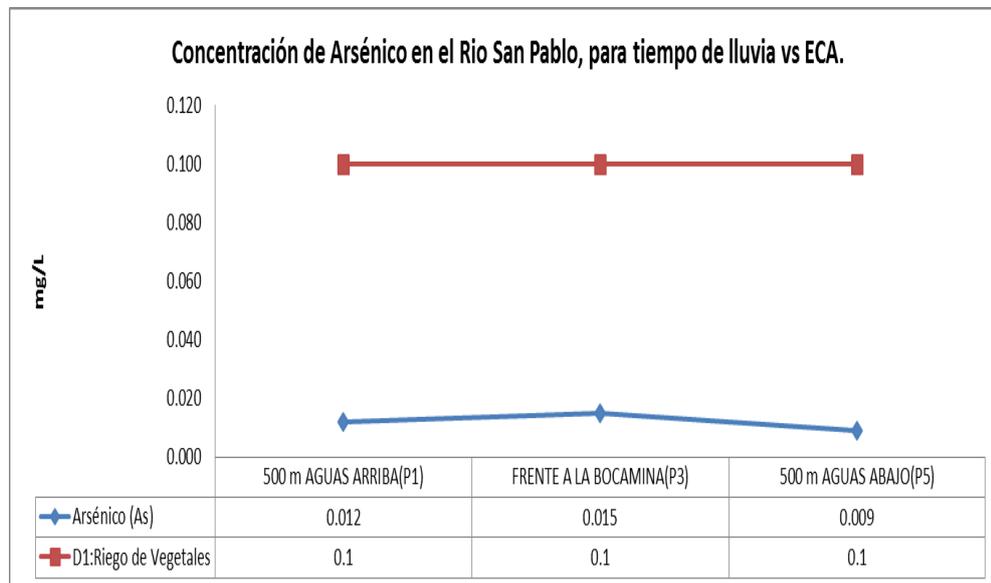
#### 6.3.1 Resultados de la concentración del Arsénico (As) en el punto de muestreo P1, P3 y P5 en el Río San Pablo en tiempo de lluvia, comparados con el ECA-Categoría 3

**Tabla 22: Resultado del As en P1, P3, P5 en el Río San Pablo (lluvia), comparados con el ECA**

Punto de Muestra	Arsénico (As)	ECA - Categoría 3	
		D1:Riego de Vegetales	D2:Bebida de Animales
500 m AGUAS ARRIBA(P1)	0.012	0.1	0.2
FRENTE A LA BOCAMINA(P3)	0.015	0.1	0.2
500 m AGUAS ABAJO(P5)	0.009	0.1	0.2

**Fuente: Elaboración Propia.**

**Figura 18: Concentración del As en el Río San Pablo vs ECA-Categ. 3**



Fuente: Elaboración Propia.

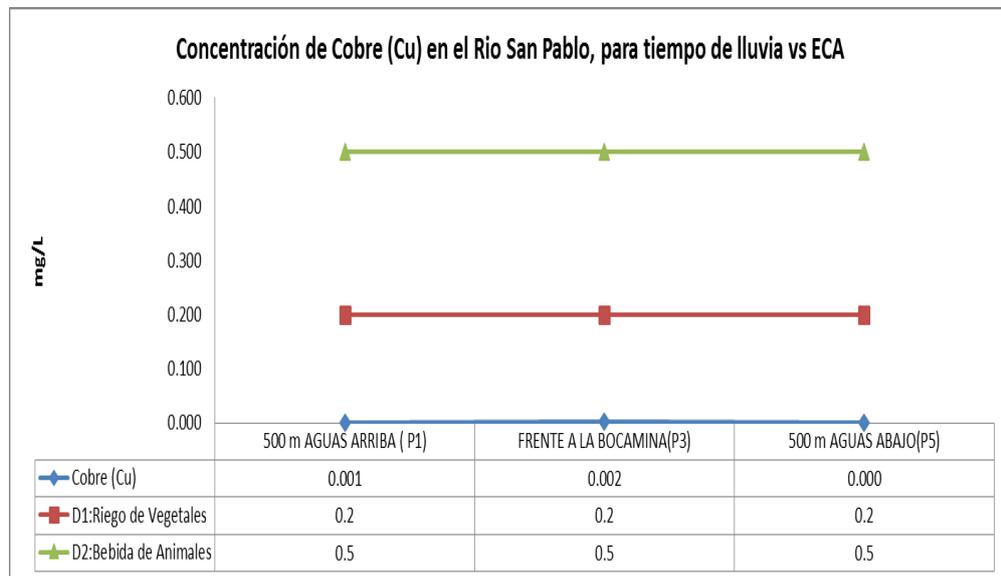
### 6.3.2 Resultados de la concentración del Cobre (Cu) en el punto de muestreo P1, P3 y P5 en el Río San Pablo en tiempo de lluvia, comparados con el ECA-Categoría 3.

**Tabla 23: Resultado del Cu en P1, P3, P5 en el Río San Pablo (lluvia), comparados con el ECA.**

Punto de Muestra	Cobre (Cu)	ECA - Categoría 3	
		D1:Riego de Vegetales	D2:Bebida de Animales
500 m AGUAS ARRIBA (P1)	0.001	0.2	0.5
FRENTE A LA BOCAMINA (P3)	0.002	0.2	0.5
500 m AGUAS ABAJO (P5)	0.000	0.2	0.5

Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 19: Concentración del Cu en el Río San Pablo vs ECA-Categ. 3**



**Fuente: Elaboración Propia.**

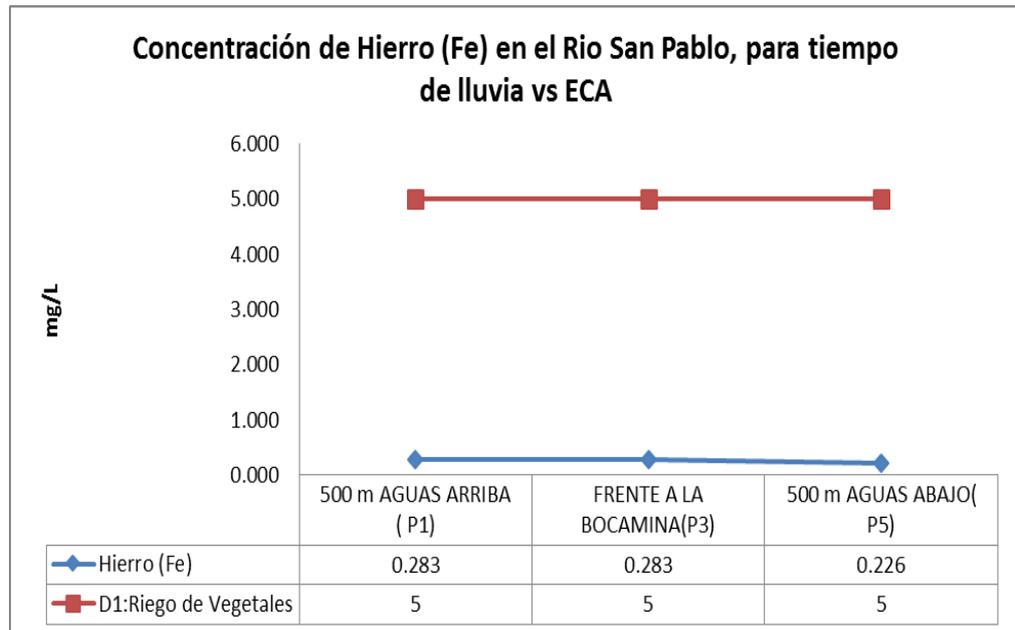
### 6.3.3 Resultados de la concentración del Hierro (Fe) en el punto de muestreo P1, P3 y P5 en el Río San Pablo en tiempo de lluvia, comparados con el ECA-Categoría 3.

**Tabla 24: Resultado del Cu en P1, P3, P5 en el Río San Pablo, con el ECA.**

Punto de Muestra	Hierro (Fe)	ECA - Categoría 3
		D1:Riego de Vegetales
500 m AGUAS ARRIBA (P1)	0.283	5
FRENTE A LA BOCAMINA (P3)	0.283	5
500 m AGUAS ABAJO (P5)	0.226	5

**Fuente: Elaboración Propia.**

**Figura 20: Concentración del Fe en el Río San Pablo vs ECA-Categ. 3**



**Fuente: Elaboración Propia.**

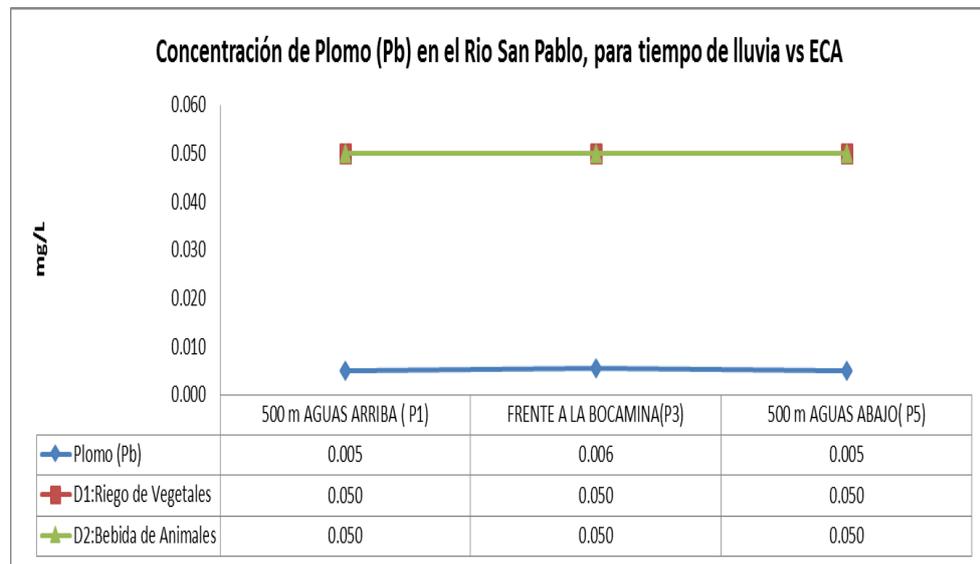
#### 6.3.4 Resultados de la concentración del Plomo (Pb) en el punto de muestreo P1, P3 y P5 en el Río San Pablo en tiempo de lluvia, comparados con el ECA-Categoría 3.

**Tabla 25: Resultado del Pb en P1, P3, P5 en el Río San Pablo (lluvia), comparados con el ECA.**

Punto de Muestra	Plomo (Pb)	ECA - Categoría 3	
		D1: Riego de Vegetales	D2: Bebida de Animales
500 m AGUAS ARRIBA (P1)	0.005	0.050	0.050
FRENTE A LA BOCAMINA (P3)	0.006	0.050	0.050
500 m AGUAS ABAJO (P5)	0.005	0.050	0.050

**Fuente: Elaboración Propia.**

**Figura 21: Concentración del Pb en el Río San Pablo vs ECA-Categ. 3**



Fuente: Elaboración Propia.

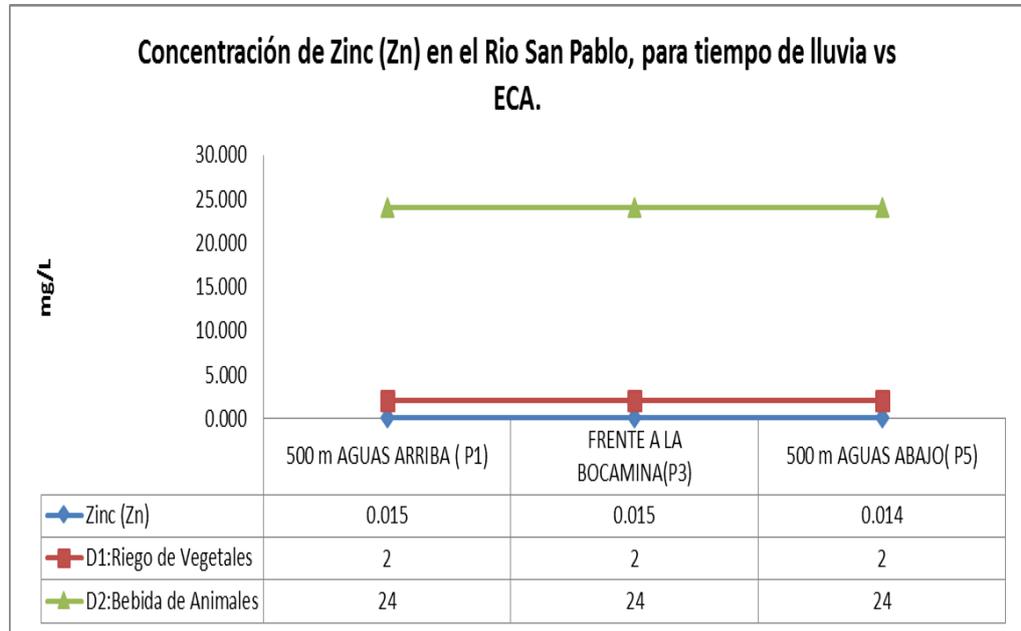
### 6.3.5 Resultados de la concentración del Zinc (Zn) en el punto de muestreo P1, P3 y P5 en el Río San Pablo en tiempo de lluvia, comparados con el ECA-Categoría 3.

**Tabla 26: Resultado del Zn en P1, P3, P5 en el Río San Pablo (lluvia), comparados con el ECA.**

Punto de Muestra	Zinc (Zn)	ECA - Categoría 3	
		D1:Riego de Vegetales	D2:Bebida de Animales
500 m AGUAS ARRIBA (P1)	0.015	2	24
FRENTE A LA BOCAMINA (P3)	0.015	2	24
500 m AGUAS ABAJO (P5)	0.014	2	24

Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 22: Concentración del Zn en el Río San Pablo vs ECA-Categ. 3**



**Fuente: Elaboración Propia.**

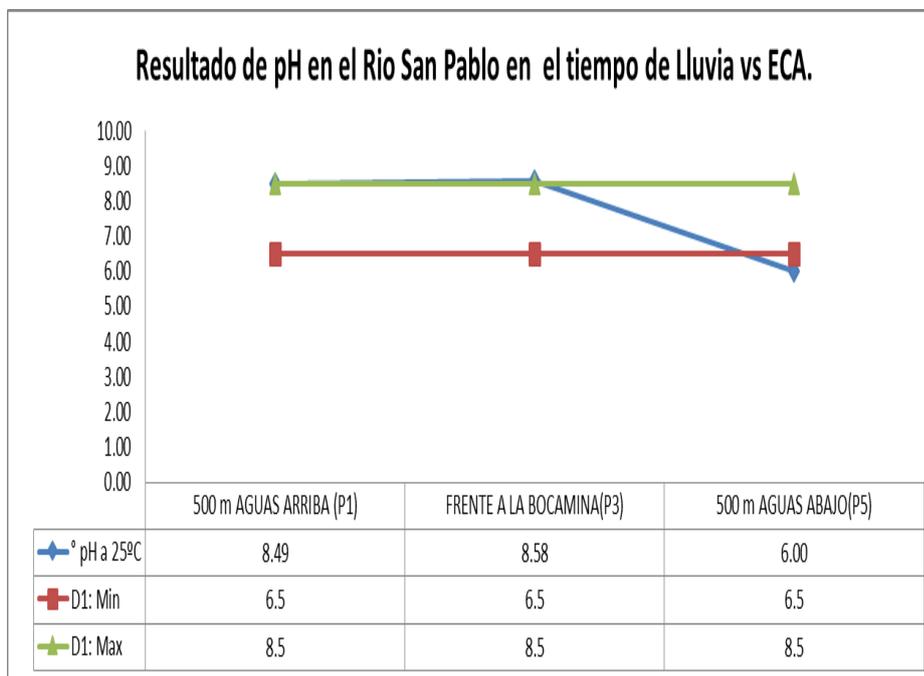
### 6.3.6 Resultados del pH en el punto de muestreo P1, P3 y P5 en el Río San Pablo en tiempo de lluvia, comparados con el pH del ECA-Categoría 3.

**Tabla 27: Resultado del pH en P1, P3, P5 comparado con ECA en lluvia**

Punto de Muestra	° pH a 25°C	ECA	
		D1:Riego de Vegetales	
		D1: Min	D1: Max
500 m AGUAS ARRIBA (P1)	8.49	6.5	8.5
FRENTE A LA BOCAMINA (P3)	8.58	6.5	8.5
500 m AGUAS ABAJO (P5)	6.00	6.5	8.5

**Fuente: Elaboración Propia.**

**Figura 23: Resultado del pH en P1, P3, P5 comparado con ECA**



Fuente: Elaboración Propia.

#### 6.4 Resultados de las propiedades geoquímicas dentro del nivel 6, escorrentía del depósito de relave de la Mina Paredones del As, Cu, Fe, Pb, Zn y pH, para el tiempo de lluvia.

Los resultados de las propiedades geoquímicas del drenaje de agua subterránea del nivel 6 (P2), escorrentía del depósito de relave (P4) de la Mina Paredones en tiempo de lluvia, se comparará con el Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM que aprueba los Límites Máximos Permisibles (LMP) para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero – Metalúrgicas.

**Tabla 28: Resultados geoquímicos dentro del nivel 6 (P2), escorrentía del depósito de relave (P4) en tiempo de lluvia.**

Punto de Muestra	Arsénico (As)	Cobre (Cu)	Hierro (Fe)	Plomo (Pb)	Zinc (Zn)	° pH a 25°C
500m DENTRO DE LA GALERIA (P2)	0.014	0.189	5.982	0.017	10.17	7.88
ESCORRENTÍA DEPOSITO DE RELAVE (P4)	7.855	49.69	1394	13.17	374.0	2.42

Fuente: Elaboración Propia.

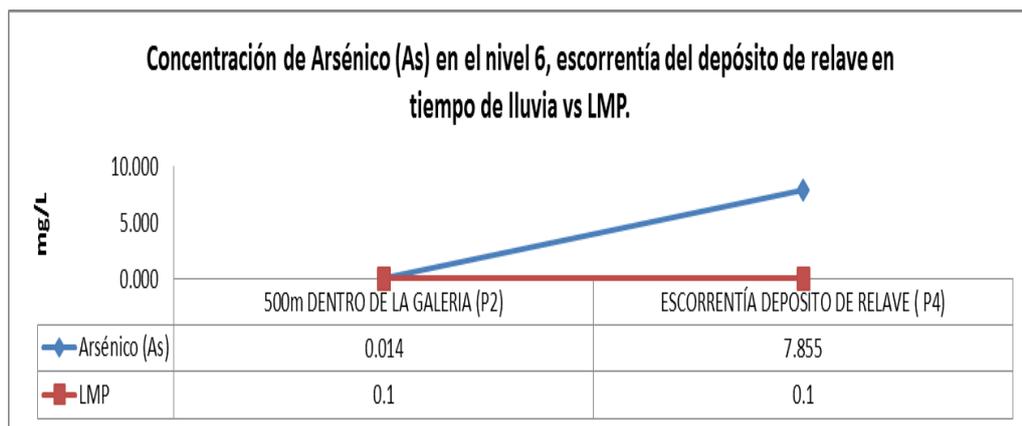
#### 6.4.1 Resultado de concentración de Arsénico (As) en el nivel 6 (P2), escorrentía del depósito de relave (P4) en tiempo de lluvia comparado con los Límites Máximos Permisibles (LMP).

Tabla 29: Resultado de concentración de Arsénico (As) en el punto de muestreo P2 y P4 en tiempo de lluvia comparado con los LMP.

Punto de Muestra	Arsénico (As)	LMP
500m DENTRO DE LA GALERIA (P2)	0.014	0.1
ESCORRENTÍA DEPOSITO DE RELAVE (P4)	7.855	0.1

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 24: Resultado de concentración de As en el punto de muestreo P2 y P4 en tiempo de lluvia vs LMP.



Fuente: Elaboración Propia.

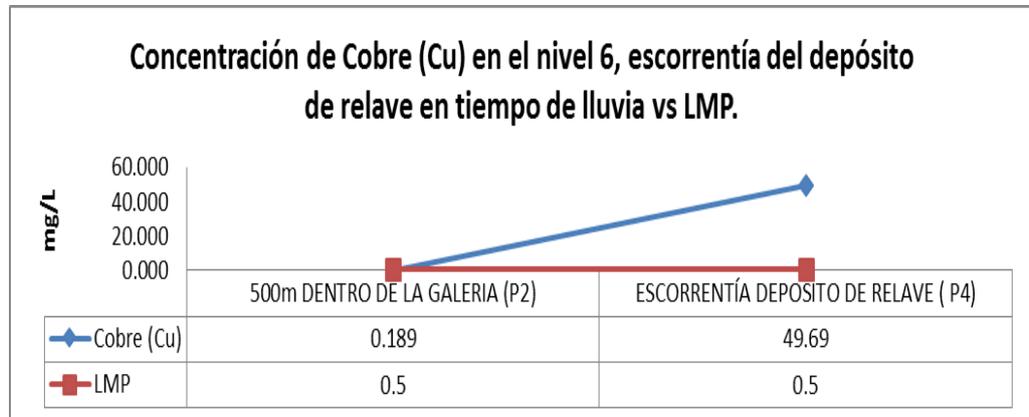
#### 6.4.2 Resultado de concentración de Cobre (Cu) en el nivel 6 (P2), escorrentía del depósito de relave (P4) en tiempo de lluvia comparado con los Límites Máximos Permisibles (LMP).

Tabla 30: Resultado de concentración de Cobre (Cu) en el punto de muestreo P2 y P4 en tiempo de lluvia comparado con los LMP.

Punto de Muestra	Cobre (Cu)	LMP
500m DENTRO DE LA GALERIA (P2)	0.189	0.5
ESCORRENTÍA DEPOSITO DE RELAVE (P4)	49.69	0.5

Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 25: Resultado de concentración de Cobre (Cu) en el punto de muestreo P2 y P4 en tiempo de lluvia comparado con los LMP.**



Fuente: Elaboración Propia.

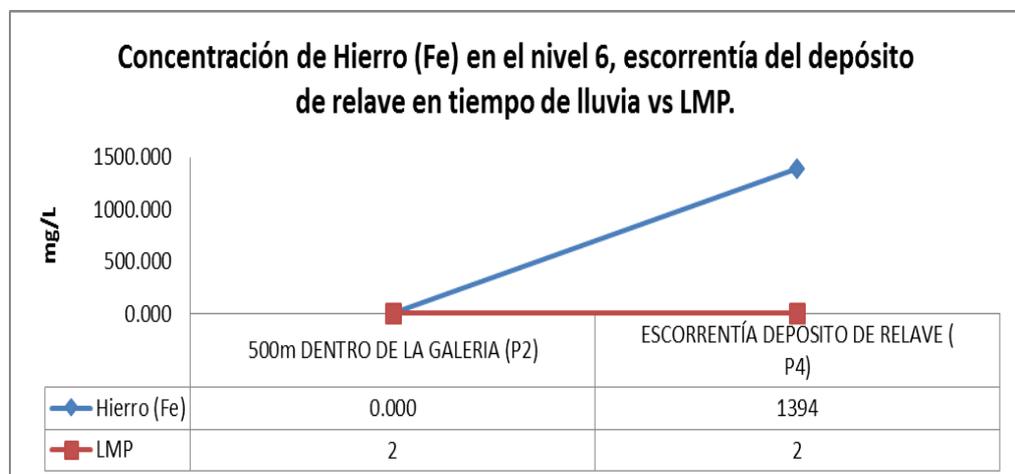
#### 6.4.3 Resultado de concentración de Hierro (Fe) en el nivel 6 (P2), escorrentía del depósito de relave (P4) en tiempo de lluvia comparado con los Límites Máximos Permisibles (LMP).

**Tabla 31: Resultado de concentración de Hierro (Fe) en el punto de muestreo P2 y P4 en tiempo de lluvia comparado con los LMP.**

Punto de Muestra	Hierro (Fe)	LMP
500m DENTRO DE LA GALERIA (P2)	5.982	2
ESCORRENTÍA DEPOSITO DE RELAVE (P4)	1394	2

Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 26: Resultado de concentración de Hierro (Fe) en el punto de muestreo P2 y P4 en tiempo de lluvia comparado con los LMP.**



Fuente: Elaboración Propia.

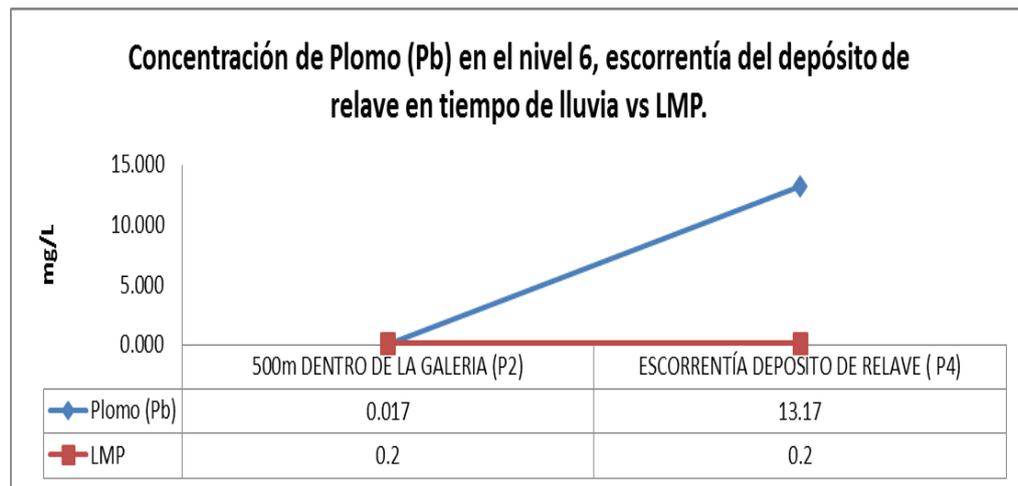
#### 6.4.4 Resultado de concentración de Plomo (Pb) en el nivel 6 (P2), escorrentía del depósito de relave (P4) en tiempo de lluvia comparado con los Límites Máximos Permisibles (LMP).

Tabla 32: Resultado de concentración de Plomo (Pb) en el punto de muestreo P2 y P4 en tiempo de lluvia comparado con los LMP.

Punto de Muestra	Plomo (Pb)	LMP
500m DENTRO DE LA GALERIA (P2)	0.017	0.2
ESCORRENTÍA DEPOSITO DE RELAVE (P4)	13.17	0.2

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 27: Resultado de concentración de Plomo (Pb) en el punto de muestreo P2 y P4 en tiempo de lluvia comparado con los LMP.



Fuente: Elaboración Propia.

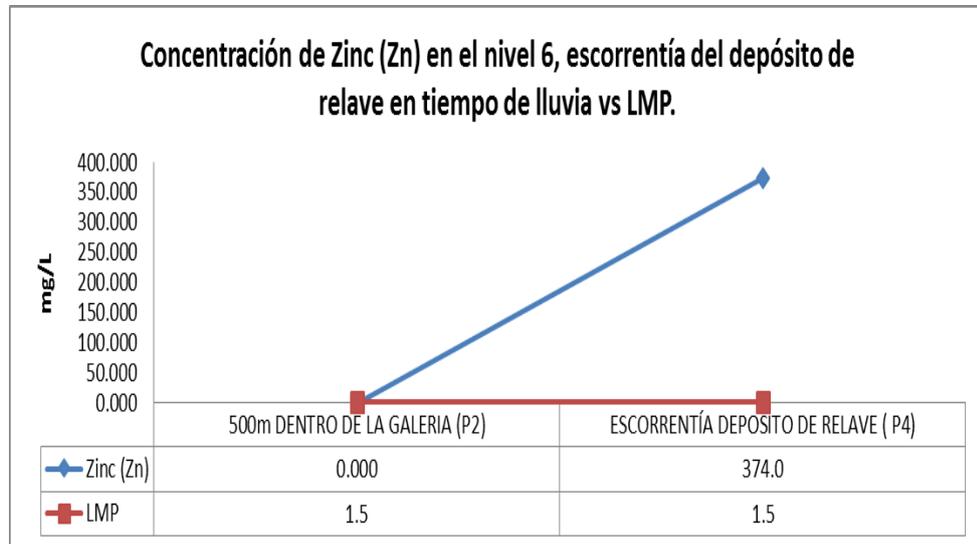
#### 6.4.5 Resultado de concentración de Zinc (Zn) en el nivel 6 (P2), escorrentía del depósito de relave (P4) en tiempo de lluvia comparado con los Límites Máximos Permisibles (LMP).

Tabla 33: Resultado de concentración de Zinc (Zn) en el punto de muestreo P2 y P4 en tiempo de lluvia comparado con los LMP.

Punto de Muestra	Zinc (Zn)	LMP
500m DENTRO DE LA GALERIA (P2)	10.17	1.5
ESCORRENTÍA DEPOSITO DE RELAVE (P4)	374.0	1.5

Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 28: Resultado de concentración del Zinc (Zn) en el punto de muestreo P2 y P4 en tiempo de lluvia comparado con los LMP.**



Fuente: Elaboración Propia.

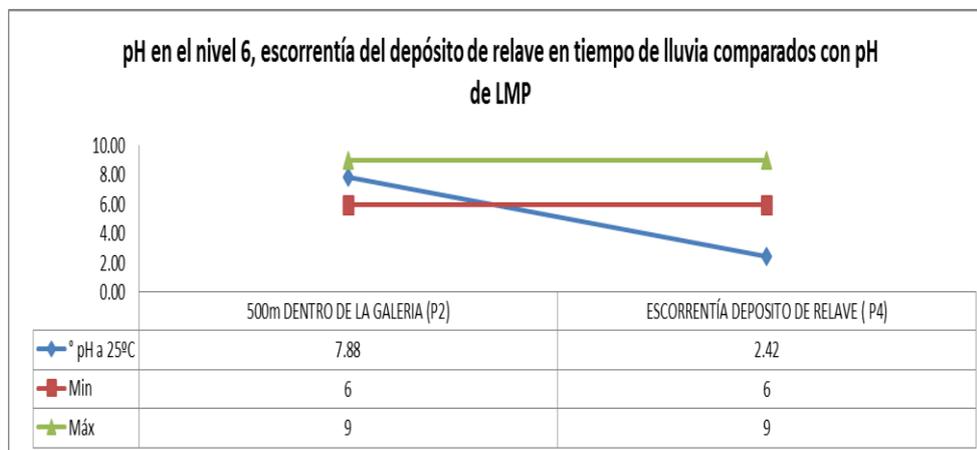
#### 6.4.4 Resultado del pH en el nivel 6 (P2), escorrentía del depósito de relave (P4) en tiempo de lluvia comparado con el pH de los Límites Máximos Permisibles (LMP).

**Tabla 34: Resultado del pH en P2 y P4 comparado con los LMP**

Punto de Muestra	° pH a 25°C	LMP	
		Min	Máx
500m DENTRO DE LA GALERIA (P2)	7.88	6	9
ESCORRENTÍA DEPOSITO DE RELAVE (P4)	2.42	6	9

Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 29: Resultado del pH en P2 y P4 vs LMP**



Fuente: Elaboración Propia.

## 6.5 Comparación de la concentración del As, Cu, Fe, Pb, Zn y pH en el Río San Pablo, para el tiempo de sequía y lluvia.

**Tabla 35: Resumen de la concentración de As, Cu, Fe, Pb, Zn y pH en el Río San Pablo, para el tiempo de Sequía.**

Punto de Muestra	Arsénico (As)	Cobre (Cu)	Hierro (Fe)	Plomo (Pb)	Zinc (Zn)	° pH a 25°C
500 m AGUAS ARRIBA ( P1)	0.040	0.200	0.300	0.100	0.030	7.9
FRENTE A LA BOCAMINA (P3)	0.050	0.210	0.300	0.110	0.030	6.20
500 m AGUAS ABAJO (P5)	0.030	0.210	0.240	0.100	0.028	6.7
RESUMEN	Arsénico (As)	Cobre (Cu)	Hierro (Fe)	Plomo (Pb)	Zinc (Zn)	° pH a 25°C
Media	0.040	0.207	0.280	0.103	0.029	6.933
DS	0.010	0.006	0.035	0.006	0.001	0.874
n	3	3	3	3	3	3

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 36: Resumen de la Concentración de As, Cu, Fe, Pb, Zn y pH en el Río San Pablo, para el tiempo de Lluvia.**

Punto de Muestra	Arsénico (As)	Cobre (Cu)	Hierro (Fe)	Plomo (Pb)	Zinc (Zn)	° pH a 25°C
500 m AGUAS ARRIBA (P1)	0.012	0.001	0.283	0.005	0.015	8.49
FRENTE A LA BOCAMINA (P3)	0.015	0.001	0.283	0.006	0.015	8.58
500 m AGUAS ABAJO (P5)	0.009	0.000	0.226	0.005	0.014	6.00
RESUMEN	Arsénico (As)	Cobre (Cu)	Hierro (Fe)	Plomo (Pb)	Zinc (Zn)	° pH a 25°C
Media	0.012	0.001	0.264	0.005	0.015	7.690
DS	0.003	0.001	0.033	0.000	0.001	1.464
n	3	3	3	3	3	3

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 37: Concentración de Arsénico (As) en el Río San Pablo, para el tiempo de sequía y lluvia.**

Punto de Muestra	Arsénico (As)	Arsénico (As)
500 m AGUAS ARRIBA ( P1)	0.040	0.012
FRENTE A LA BOCAMINA ( P3)	0.050	0.015
500 m AGUAS ABAJO.( P5)	0.030	0.009
RESUMEN	Tiempo de Sequía	Tiempo de Lluvia
Media	0.040	0.012
DS	0.010	0.003
n	3	3

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 38: Concentración de Cobre (Cu) en el Rio San Pablo, para el tiempo de sequía y lluvia.**

Punto de Muestra	Cobre (Cu)	Cobre (Cu)
500 m AGUAS ARRIBA ( P1)	0.200	0.001
FRENTE A LA BOCAMINA ( P3)	0.210	0.002
500 m AGUAS ABAJO ( P5)	0.210	0.000
RESUMEN	Tiempo de Sequía	Tiempo de Lluvia
Media	0.207	0.001
DS	0.006	0.001
n	3	3

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 39: Concentración de Hierro (Fe) en el Rio San Pablo, para el tiempo de Sequía y Lluvia.**

Punto de Muestra	Hierro (Fe)	Hierro (Fe)
500 m AGUAS ARRIBA ( P1)	0.300	0.283
FRENTE A LA BOCAMINA ( P3)	0.300	0.283
500 m AGUAS ABAJO ( P5)	0.240	0.226
RESUMEN	Tiempo de Sequía	Tiempo de Lluvia
Media	0.280	0.264
DS	0.035	0.033
n	3	3

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 40: Concentración de Plomo (Pb) en el Rio San Pablo, para el tiempo de Sequía y Lluvia.**

Punto de Muestra	Plomo (Pb)	Plomo (Pb)
500 m AGUAS ARRIBA ( P1)	0.100	0.005
FRENTE A LA BOCAMINA ( P3)	0.110	0.006
500 m AGUAS ABAJO ( P5)	0.100	0.005
RESUMEN	Tiempo de Sequía	Tiempo de Lluvia
Media	0.103	0.005
DS	0.006	0.000
n	3	3

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 41: Concentración de Zinc (Zn) en el Río San Pablo, para el tiempo de sequía y lluvia.**

Punto de Muestra	Zinc (Zn)	Zinc (Zn)
500 m AGUAS ARRIBA ( P1)	0.030	0.015
FRENTE A LA BOCAMINA ( P3)	0.030	0.015
500 m AGUAS ABAJO ( P5)	0.028	0.014
RESUMEN	Tiempo de Sequía	Tiempo de Lluvia
Media	0.029	0.015
DS	0.001	0.001
n	3	3

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 42: Concentración de pH, en el Río San Pablo, para el tiempo de sequía y lluvia.**

Punto de Muestra	° pH a 25°C	° pH a 25°C
500 m AGUAS ARRIBA ( P1)	7.90	8.49
FRENTE A LA BOCAMINA ( P3)	6.20	8.58
500 m AGUAS ABAJO (P5)	6.70	6.00
RESUMEN	Tiempo de Sequía	Tiempo de Lluvia
Media	6.933	7.690
DS	0.874	1.464
n	3	3

Fuente: Elaboración Propia.

## 6.6 Resultados del análisis comparativo de la concentración del As, Cu, Fe, Pb, Zn y pH en el Río San Pablo con el ECA - Categ. 3 (tiempo de sequía y lluvia) determinando que no existe contaminación.

**Tabla 43: Resumen de la concentración de As, Cu, Fe, Pb, Zn y pH en el Río San Pablo, para el tiempo de Sequía.**

Punto de Muestra	Arsénico (As)	Cobre (Cu)	Hierro (Fe)	Plomo (Pb)	Zinc (Zn)	° pH a 25°C
500 m AGUAS ARRIBA (P1)	0.040	0.200	0.300	0.100	0.030	7.9
FRENTE A LA BOCAMINA (P3)	0.050	0.210	0.300	0.110	0.030	6.20
500 m AGUAS ABAJO (P5)	0.030	0.210	0.240	0.100	0.028	6.7
RESUMEN	Arsénico (As)	Cobre (Cu)	Hierro (Fe)	Plomo (Pb)	Zinc (Zn)	° pH a 25°C
Media	0.040	0.207	0.280	0.103	0.029	6.933
DS	0.010	0.006	0.035	0.006	0.001	0.874
n	3	3	3	3	3	3

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 44: Concentración de As, Cu, Fe, Pb, Zn y pH en el Río San Pablo, para el tiempo de Lluvia.**

Punto de Muestra	Arsénico (As)	Cobre (Cu)	Hierro (Fe)	Plomo (Pb)	Zinc (Zn)	° pH a 25°C
500 m AGUAS ARRIBA (P1)	0.012	0.001	0.283	0.005	0.015	8.49
FRENTE A LA BOCAMINA (P3)	0.015	0.001	0.283	0.006	0.015	8.58
500 m AGUAS ABAJO (P5)	0.009	0.000	0.226	0.005	0.014	6.00
RESUMEN	Arsénico (As)	Cobre (Cu)	Hierro (Fe)	Plomo (Pb)	Zinc (Zn)	° pH a 25°C
Media	0.012	0.001	0.264	0.005	0.015	7.690
DS	0.003	0.001	0.033	0.000	0.001	1.464
n	3	3	3	3	3	3

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 45: ECA comparado con la concentración de Arsénico, en el Río San Pablo, en tiempo de lluvia**

Punto de Muestra	Arsénico (As)	
500 m AGUAS ARRIBA (P1)	0.012	
FRENTE A LA BOCAMINA (P3)	0.015	
500 m AGUAS ABAJO (P5)	0.009	
RESUMEN	Tiempo de Lluvia	ECA
Media	0.012	0.100
DS	0.003	0.003
n	3	3

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 46: ECA comparado con la concentración de Cobre, en el Río San Pablo, para el tiempo de lluvia.**

Punto de Muestra	Cobre (Cu)	
500 m AGUAS ARRIBA (P1)	0.001	
FRENTE A LA BOCAMINA (P3)	0.002	
500 m AGUAS ABAJO (P5)	0.000	
RESUMEN	Tiempo de Lluvia	ECA
Media	0.001	0.2
DS	0.001	0.001
n	3	3

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 47: ECA comparado con la concentración de Hierro, en el Río San Pablo, para el tiempo de lluvia.**

Punto de Muestra	Hierro (Fe)	
500 m AGUAS ARRIBA (P1)	0.283	
FRENTE A LA BOCAMINA (P3)	0.283	
500 m AGUAS ABAJO (P5)	0.226	
RESUMEN	Tiempo de Lluvia	ECA
Media	0.264	5
DS	0.033	0.033
n	3	3

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 48: ECA comparado con la concentración de Plomo, en el Río San Pablo, para el tiempo de lluvia.**

Punto de Muestra	Plomo (Pb)	
500 m AGUAS ARRIBA (P1)	0.005	
FRENTE A LA BOCAMINA (P3)	0.006	
500 m AGUAS ABAJO (P5)	0.005	
RESUMEN	Tiempo de Lluvia	ECA
Media	0.005	0.05
DS	0.000	0.001
n	3	3

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 49: ECA comparado con la concentración de Zinc, en el Río San Pablo, para el tiempo de lluvia.**

Punto de Muestra	Zinc (Zn)	
500 m AGUAS ARRIBA (P1)	0.015	
FRENTE A LA BOCAMINA (P3)	0.015	
500 m AGUAS ABAJO (P5)	0.014	
RESUMEN	Tiempo de Lluvia	ECA
Media	0.015	2
DS	0.001	0.001
n	3	3

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 50: ECA comparado con la concentración de pH, en el Río San Pablo, para el tiempo de lluvia.**

Punto de Muestra	° pH a 25°C
500 m AGUAS ARRIBA (P1)	8.49
FRENTE A LA BOCAMINA (P3)	8.58
500 m AGUAS ABAJO (P5)	6.00
RESUMEN	Tiempo de Lluvia
Media	7.690
DS	1.464
n	3

Fuente: Elaboración Propia.

## 6.7 Resultados de la Prueba de Hipótesis.

### 6.7.1 Evaluar si existe diferencia significativa entre la concentración de metales en tiempo de sequía y lluvia.

#### a) Prueba de Hipótesis 1: Arsénico

H1: La concentración de Arsénico en el río San Pablo, según el ECA, en tiempo de sequía, es mayor a la concentración en tiempo de lluvia.

H1:  $\mu_s > \mu_{LL}$

$\alpha = 0.05$

Tiempo de Sequía	Tiempo de Lluvia	
0.04	0.012	mean
0.01	0.003	std. dev.
3	3	n

2 df  
0.028000 difference (Tiempo de Sequía - Tiempo de Lluvia)  
0.006028 standard error of difference  
0 hypothesized difference

4.65 t

.0217 p-value (one-tailed, upper)

### b) Prueba de Hipótesis 2: Cobre

H1: La concentración de Cobre en el río San Pablo, según ECA en tiempo de sequía, es mayor a la concentración en tiempo de lluvia.

$$H1: \mu_s > \mu_{LL}$$

$$\alpha = 0.05$$

Tiempo de Sequía	Tiempo de Lluvia	
0.206666667	0.001	mean
0.005773503	0.001	std. dev.
3	3	n

2 df  
0.2056667 difference (Tiempo de Sequía - Tiempo de Lluvia)  
0.0033830 standard error of difference  
0 hypothesized difference

60.79 t

.0001 p-value (one-tailed, upper)

### c) Prueba de Hipótesis 3: Hierro

H1: La concentración de Hierro en el río San Pablo, según ECA en tiempo de sequía, es mayor a la concentración en tiempo de lluvia.

$$H1: \mu_s > \mu_{LL}$$

$$\alpha = 0.05$$

Tiempo de Sequía	Tiempo de Lluvia	
0.28	0.263666667	mean
0.034641016	0.03262029	std. dev.
3	3	n

3 df  
0.0163333 difference (Tiempo de Sequía - Tiempo de Lluvia)  
0.0274717 standard error of difference  
0 hypothesized difference

0.59 t

.2970 p-value (one-tailed, upper)

**d) Prueba de Hipótesis 4: Plomo**

H1: La concentración de Plomo en el río San Pablo, según ECA en tiempo de sequía, es mayor a la concentración en tiempo de lluvia.

$$H1: \mu_s > \mu_{LL}$$

$$\alpha = 0.05$$

Tiempo de Sequía	Tiempo de Lluvia	
0.103333333	0.005166667	mean
0.005773503	0.000288675	std. dev.
3	3	n

2 df

0.0981667 difference (Tiempo de Sequía - Tiempo de Lluvia)

0.0033375 standard error of difference

0 hypothesized difference

29.41 t

.0006 p-value (one-tailed, upper)

**e) Prueba de Hipótesis 5: Zinc**

H1: La concentración de Zinc en el río San Pablo, según ECA en tiempo de sequía, es mayor a la concentración en tiempos de lluvia.

$$H1: \mu_s > \mu_{LL}$$

$$\alpha = 0.05$$

Tiempo de Sequía	Tiempo de Lluvia	
0.029333333	0.014666667	mean
0.001154701	0.00057735	std. dev.
3	3	n

2 df

0.0146667 difference (Tiempo de Sequía - Tiempo de Lluvia)

0.0007454 standard error of difference

0 hypothesized difference

19.68 t

.0013 p-value (one-tailed, upper)

**f) Prueba de Hipótesis 5: pH**

H1: El pH en el río San Pablo, según ECA en tiempo de sequía, es mayor a la concentración en tiempo de lluvia.

H1:  $\mu_s > \mu_{LL}$

$\alpha = 0.05$

Tiempo de Sequía	Tiempo de Lluvia	
6.933333333	7.69	mean
0.873689495	1.464274564	std. dev.
3	3	n

3 df  
-0.7566667 difference (Tiempo de Sequía - Tiempo de Lluvia)  
0.9844513 standard error of difference  
0 hypothesized difference

-0.77 t  
.7510 p-value (one-tailed, upper)

**6.7.2 Determinar si existe contaminación en el río San Pablo en tiempo de sequía y lluvia.**

**A. Determinar si existe contaminación en el río San Pablo en tiempo de sequía.**

**a) Prueba de Hipótesis 1: Arsénico.**

H1: La concentración de Arsénico en el río San Pablo, en tiempo de Sequía, es mayor a 0.1 (ppm) (Según el ECA).

H1:  $\mu_s > 0.1$

$\alpha = 0.05$

**Hypothesis Test: Mean vs. Hypothesized Value**

0.1000 hypothesized value  
0.0400 mean Tiempo de Sequía  
0.0100 std. dev.  
0.0058 std. error  
3 n  
2 df

-10.39 t  
.9954 p-value (one-tailed, upper)

**b) Prueba de Hipótesis 2: Cobre**

H1: La concentración de Cobre en el río San Pablo, en tiempo de Sequía, es mayor a 0.2 (ppm) (Según el ECA).

H1:  $\mu_S > 0.2$

$\alpha = 0.05$

**Hypothesis Test: Mean vs. Hypothesized Value**

0.200000 hypothesized value  
 0.206667 mean Tiempo de Sequía  
 0.005774 std. dev.  
 0.003333 std. error  
 3 n  
 2 df  
  
 2.00 t  
 .0918 p-value (one-tailed, upper)

**c) Prueba de Hipótesis 3: Hierro**

H1: La concentración de Hierro en el río San Pablo, en tiempo de sequía, es mayor a 5 (ppm) (Según el ECA).

H1:  $\mu_S > 5$

$\alpha = 0.05$

**Hypothesis Test: Mean vs. Hypothesized Value**

5.0000 hypothesized value  
 0.2800 mean Tiempo de Sequía  
 0.0346 std. dev.  
 0.0200 std. error  
 3 n  
 2 df  
  
 -236.00 t  
 1.0000 p-value (one-tailed, upper)

**d) Prueba de Hipótesis 4: Plomo**

H1: La concentración de Plomo en el río San Pablo, en tiempo de sequía, es mayor a 0.05 (ppm) (Según el ECA).

H1:  $\mu_S > 0.05$

$\alpha = 0.05$

### Hypothesis Test: Mean vs. Hypothesized Value

0,000000 hypothesized value  
 0,103333 mean Tiempo de Sequía  
 0,005774 std. dev.  
 0,003333 std. error  
 3 n  
 2 df

31,00 t

0,0005 p-value (one-tailed, upper)

#### e) Prueba de Hipótesis 5: Zinc

H1: La concentración de Zinc en el río San Pablo, en tiempo de sequía, es mayor a 2 (ppm) (Según el ECA).

H1:  $\mu_S > 2$

$\alpha = 0.05$

### Hypothesis Test: Mean vs. Hypothesized Value

2,000000 hypothesized value  
 0,029333 mean Tiempo de Sequía  
 0,001155 std. dev.  
 0,000667 std. error  
 3 n  
 2 df

-2956,00 t

1,0000 p-value (one-tailed, upper)

## B. Determinar si existe contaminación en el río San Pablo en tiempo de lluvia.

#### a) Prueba de Hipótesis 1: Arsénico.

H1: La concentración de Arsénico en el río San Pablo, en tiempo de lluvias, es mayor a 0.1 (ppm) (Según el ECA).

H1:  $\mu_{LL} > 0.1$

$\alpha = 0.05$

### Hypothesis Test: Mean vs. Hypothesized Value

0.10000 hypothesized value  
 0.01200 mean Tiempo de Lluvia  
 0.00300 std. dev.  
 0.00173 std. error  
 3 n  
 2 df  
  
 -50.81 t  
 .9998 p-value (one-tailed, upper)

#### b) Prueba de Hipótesis 2: Cobre

H1: La concentración de Cobre en el rio San Pablo, en tiempo de lluvias, es mayor a 0.2 (ppm) (Según el ECA).

H1:  $\mu_{LL} > 0.2$

$\alpha = 0.05$

### Hypothesis Test: Mean vs. Hypothesized Value

0.20000 hypothesized value  
 0.00100 mean Tiempo de Lluvia  
 0.00100 std. dev.  
 0.00058 std. error  
 3 n  
 2 df  
  
 -344.68 t  
 1.0000 p-value (one-tailed, upper)

#### c) Prueba de Hipótesis 3: Hierro

H1: La concentración de Hierro en el rio San Pablo, en tiempo de lluvias, es mayor a 5 (ppm) (Según el ECA).

H1:  $\mu_{LL} > 5$

$\alpha = 0.05$

### Hypothesis Test: Mean vs. Hypothesized Value

5.000000 hypothesized value  
 0.263667 mean Tiempo de Lluvia  
 0.032620 std. dev.  
 0.018833 std. error  
 3 n  
 2 df  
 -251.49 t  
 1.0000 p-value (one-tailed, upper)

#### d) Prueba de Hipótesis 4: Plomo

H1: La concentración de Plomo en el río San Pablo, en tiempo de lluvias, es mayor a 0.05 (ppm) (Según el ECA).

H1:  $\mu_{LL} > 0.05$

$\alpha = 0.05$

### Hypothesis Test: Mean vs. Hypothesized Value

0.050000 hypothesized value  
 0.005167 mean Tiempo de Lluvia  
 0.000289 std. dev.  
 0.000167 std. error  
 3 n  
 2 df  
 -269.00 t  
 1.0000 p-value (one-tailed, upper)

#### e) Prueba de Hipótesis 5: Zinc

H1: La concentración de Zinc en el río San Pablo, en tiempo de lluvias, es mayor a 2 (ppm) (Según el ECA).

H1:  $\mu_{LL} > 2$

$\alpha = 0.05$

### Hypothesis Test: Mean vs. Hypothesized Value

2.000000 hypothesized value

0.014667 mean Tiempo de Lluvia

0.000577 std. dev.

0.000333 std. error

3 n

2 df

-5956.00 t

1.0000 p-value (one-tailed, upper)

## **CAPÍTULO 7. DISCUSIÓN**

### **7.1 De la concentración del As, Cu, Fe, Pb, Zn y pH en el punto de muestreo P1 (500 m aguas arriba de la bocamina del nivel 6 de la Mina Paredones), P3 (frente a la bocamina del nivel 6) y P5 (500m aguas abajo pasando el depósito de relave) en el Río San Pablo en tiempo de sequía, comparados con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) - Categoría 3**

- ✓ La Tabla N° 8 y el Figura N° 5, se observa que en tiempo de sequía la concentración del Arsénico (As), registra el valor de 0.040 mg/L de la muestra P1 en el Río San Pablo frente a la Mina Paredones, el As en la muestra P3 registra 0.050 mg/L y en la muestra P5 es de 0.030 mg/L; la concentración de este metal en estos puntos se encuentra bajo los límites del ECA - Categoría 3 /D1 y D2.
- ✓ La Tabla N° 9 y el Figura N° 6, se analiza que en tiempo de sequía la concentración del Cobre (Cu), registra en la muestra P1 el valor de 0.200 mg/L estando dentro los límites del ECA, el Cu en la muestra P3 y P5 registra 0.210 mg/L estando 0.01 mg/L mayor a 0.2 mg/L determinado para la subcategoría D1:Riego de cultivos de tallo alto y bajo de la Categoría 3 del ECA y 0.29 mg/L menos al valor de concentración de 0.5 mg/L establecido para la subcategoría D2:Bebida de animales de la categoría 3 del ECA.
- ✓ La Tabla N° 10 y el Figura N° 7, se analiza que en tiempo de sequía la concentración del Hierro (Fe), registra en la muestra P1 y P3 el valor de 0.300 mg/L estando bajo el límite del ECA- Categ.3/D1, y en la muestra P5 el Fe registra 0.240 mg/L encontrándose 4.76 mg/L menor al límite establecido de 5 mg/L para la subcategoría D1-Categ.3 del ECA.
- ✓ La Tabla N° 11 y el Figura N° 8, se analiza que en tiempo de sequía la concentración del Plomo (Pb), registra en la muestra P1 y P5 el valor de 0.100 mg/L encontrándose 0.05 mg/L mayor al límite establecido de 0.05 mg/L por la subcategoría D1: Riego de cultivos de tallo alto y bajo y D2: Bebida de animales de la Categoría 3 del ECA, y en la muestra P3 el Pb registra 0.110 mg/L encontrándose 0.06 mg/L más elevado al valor de 0.05 mg/L establecido para la subcategoría D1 y D2 de la Categoría 3 del ECA.

- ✓ La Tabla N° 12 y el Figura N° 9, se analiza que en tiempo de sequía la concentración del Zinc (Zn), registra en la muestra P1 y P3 el valor de 0.030 mg/L encontrándose menor en 1.97 mg/L a 2 mg/L prescrito para D1 /Categ. 3 del ECA, y menor en 22 mg/L respecto a los 24 mg/L establecidos para la subcategoría D2/ Categ. 3 del ECA, y en la muestra P5 el Zn registra 0.028 mg/L encontrándose 1.972 mg/L menor al límite establecido de 2 mg/L por la subcategoría D1 y 23.972 mg/L menor al límite de 24 mg/L fijado para la subcategoría D2 de la Categoría 3 del ECA.
- ✓ La Tabla N° 13 y el Figura N° 10, se analiza que en tiempo de sequía el pH en P1, es de 7.90 y en P5 es de 6.70 siendo neutro respecto al pH señalado para D1/Categ.3 del ECA como mínimo 6.5 y máximo 8.5, y el pH en P3 es de 6.20 siendo ácido por estar debajo del mínimo establecido.

**7.2 De la concentración del As, Cu, Fe, Pb, Zn y pH en el punto de muestreo P2 (500 m dentro del nivel 6 de la Mina Paredones), P4 (escorrentía del depósito de relave) en tiempo de sequía, comparados con los Límites Máximos Permisibles (LMP).**

- ✓ La Tabla N° 15 y el Figura N° 12, se observa que en tiempo de sequía la concentración del Arsénico (As), registra el valor de 1.179 mg/L en la muestra P2; la concentración de este metal está 1.079 mg/L sobre el valor de 0.1 mg/L establecido en el LMP, y P4 su concentración de As es 0 mg/L porque en tiempo de sequía no hay flujo.
- ✓ La Tabla N° 16 y el Figura N° 13, se analiza que en tiempo de sequía la concentración del Cobre (Cu), registra en la muestra P2 el valor de 0.00 mg/L estando bajo los LMP fijado para este metal y la muestra P4 su concentración de Cu es 0 mg/L porque en tiempo de sequía no hay flujo.
- ✓ La Tabla N° 17 y el Figura N° 14, se analiza que en tiempo de sequía la concentración del Hierro (Fe), registra en la muestra P2 el valor de 30.20 mg/L estando 28.2 mg/L sobre 2 mg/L señalado como el LMP, y en la muestra P4 su concentración de Fe es 0 mg/L porque en tiempo de sequía no hay flujo.

- ✓ La Tabla N° 18 y el Figura N° 15, se analiza que en tiempo de sequía la concentración del Plomo (Pb), registra en la muestra P2 el valor de 0.015 mg/L estando menor en 0.185 mg/L de 0.2 mg/L establecido como LMP, y en la muestra P4 su concentración de Fe es 0 mg/L porque en tiempo de sequía no hay flujo.
- ✓ La Tabla N° 19 y el Figura N° 16, se analiza que en tiempo de sequía la concentración del Zinc (Zn), registra en la muestra P2 el valor de 8.153 mg/L estando mayor en 6.653 mg/L respecto de 1.5 mg/L establecido como LMP, y en la muestra P4 su concentración de Fe es 0 mg/L porque en tiempo de sequía no hay flujo.
- ✓ La Tabla N° 20 y el Figura N° 17, se analiza que en tiempo de sequía el pH en P2, es de 4.5 siendo ácido respecto al pH como mínimo 6 y máximo 9 del LMP, y en la muestra P4 no hay valor de pH porque en tiempo de sequía no hay flujo de donde tomar alguna muestra de agua.

**7.3 De la concentración del As, Cu, Fe, Pb, Zn y pH en el punto de muestreo P1 (500 m aguas arriba de la bocamina del nivel 6 de la Mina Paredones), P3 (frente a la bocamina del nivel 6) y P5 (500m aguas abajo pasando el depósito de relave) en el Río San Pablo en tiempo de lluvia, comparados con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) - Categoría 3.**

- ✓ La Tabla N° 21 y el Figura N° 22, se observa que en tiempo de lluvia la concentración del Arsénico (As), registra el valor de 0.012 mg/L de la muestra P1, el As en la muestra P3 registra 0.015 mg/L y en la muestra P5 es de 0.009 mg/L; la concentración de este metal en estos puntos se encuentra bajo los límites del ECA - Categoría 3 /D1 y D2.
- ✓ La Tabla N° 23 y el Figura N° 19, se analiza que en tiempo de lluvia la concentración del Cobre (Cu), registra en la muestra P1 el valor de 0.001 mg/L, el Cu en la muestra P3 registra 0.002 mg/L y en P5 registra 0.000 mg/L estando bajo los límites determinado para la subcategoría D1: Riego de cultivos de tallo alto y bajo y D2: Bebida de animales de la categoría 3 del ECA.

- ✓ La Tabla N° 24 y el Figura N° 20, se analiza que en tiempo de lluvia la concentración del Hierro (Fe), registra en la muestra P1 y P3 el valor de 0.283 mg/L estando 4.717 mg/L menor al límite de 5 mg/L del ECA- Categ.3/D1, y en la muestra P5 el Fe registra 0.226 mg/L encontrándose 4.774 mg/L menor al límite establecido de 5 mg/L para la subcategoría D1-Categ.3 del ECA.
- ✓ La Tabla N° 25 y el Figura N° 21, se analiza que en tiempo de lluvia la concentración del Plomo (Pb), registra en la muestra P1 y P5 el valor de 0.005 mg/L encontrándose 0.045 mg/L menor a 0.050 mg/L establecido para la subcategoría D1 y D2 de la Categoría 3 del ECA, y en la muestra P3 el Pb registra 0.006 mg/L encontrándose 0.044 mg/L menor al valor de 0.050 mg/L establecido para la subcategoría D1 y D2 de la Categoría 3 del ECA.
- ✓ La Tabla N° 26 y el Figura N° 22, se analiza que en tiempo de lluvia la concentración del Zinc (Zn), registra en la muestra P1 y P3 el valor de 0.015 mg/L encontrándose menor en 1.985 mg/L a 2 mg/L prescrito para D1 /Categ. 3 del ECA, y menor en 23.985 mg/L respecto a los 24 mg/L establecidos para la subcategoría D2/ Categ. 3 del ECA, y en la muestra P5 el Zn registra 0.014 mg/L encontrándose 1.986 mg/L menor al límite establecido de 2 mg/L por la subcategoría D1 y 23.986 mg/L menor al límite de 24 mg/L fijado para la subcategoría D2 de la Categoría 3 del ECA.
- ✓ La Tabla N° 27 y el Figura N° 23, se analiza que en tiempo de lluvia el pH en P1, es de 8.49 y en P5 es de 6.00 siendo neutro respecto al pH señalado para D1/Categ.3 del ECA como mínimo 6.5 y máximo 8.5, y el pH en P3 es de 8.58 siendo alcalino por estar sobre el máximo establecido.

#### **7.4 De la concentración del As, Cu, Fe, Pb, Zn y pH en el punto de muestreo P2 (500 m dentro del nivel 6 de la Mina Paredones), P4 (escorrentía del depósito de relave) en tiempo de lluvia, comparados con los Límites Máximos Permisibles (LMP)**

- ✓ La Tabla N° 29 y el Figura N° 24, se observa que en tiempo de lluvia la concentración del Arsénico (As), registra el valor de 0.014 mg/L en la muestra P2; la concentración de este metal está 0.086 mg/L bajo el valor de 0.1 mg/L establecido en el LMP, y en P4 la concentración de As es 7.855 mg/L

encontrándose 7.755 mg/L mayor a 0.1 mg/L señalado para este metal por los LMP.

- ✓ La Tabla N° 30 y el Figura N° 25, se analiza que en tiempo de lluvia la concentración del Cobre (Cu), registra en la muestra P2 el valor de 0.189 mg/L estando 0.311 mg/L bajo el valor de 0.5 mg/L establecido en el LMP, y la muestra P4 su concentración de Cu es 49.690 mg/L, encontrándose en una concentración mayor del metal en 49.19 mg/L respecto al LMP de 0.5 mg/L.
- ✓ La Tabla N° 31 y el Figura N° 26, se analiza que en tiempo de lluvia la concentración del Hierro (Fe), registra en la muestra P2 el valor de 5.982 mg/L estando 3.982 mg/L sobre 2 mg/L señalado como el LMP, y en la muestra P4 su concentración de Fe es 1394.00 mg/L, encontrándose en una concentración mayor del metal en 1392 mg/L respecto al LMP de 2 mg/L.
- ✓ La Tabla N° 32 y el Figura N° 27, se analiza que en tiempo de lluvia la concentración del Plomo (Pb), registra en la muestra P2 el valor de 0.017 mg/L estando menor en 0.183 mg/L de 0.2 mg/L establecido como LMP, y en la muestra P4 su concentración de Fe es 13.17 mg/L, encontrándose en una concentración mayor del metal en 12.97 mg/L respecto al LMP de 0.2 mg/L.
- ✓ La Tabla N° 33 y el Figura N° 28, se analiza que en tiempo de lluvia la concentración del Zinc (Zn), registra en la muestra P2 el valor de 10.17 mg/L estando mayor en 8.67 mg/L respecto de 1.5 mg/L establecido como LMP, y en la muestra P4 su concentración de Fe es 374.0 mg/L, encontrándose en una concentración mayor del metal en 372.5 mg/L respecto al LMP de 1.5 mg/L.
- ✓ La Tabla N° 34 y el Figura N° 29, se analiza que en tiempo de lluvia el pH en P2, es de 7.88 siendo neutro por encontrarse dentro de los límites mínimo 6 y máximo 9 del pH de los LMP, y en la muestra P4 el pH es 2.42 siendo ácido respecto al pH de los LMP.

## 7.5 Discusión de resultados para evaluar si existe diferencia significativa entre la concentración de metales en tiempo de sequía y tiempo de lluvia.

- ✓ En la prueba de hipótesis 1 - Arsénico (As), se tiene que la concentración de As en el río San Pablo, según el ECA, en tiempo de sequía, es mayor a la concentración en tiempos de lluvia (H1); por tanto  $H1: \mu_s > \mu_{LL}$  y  $\alpha = 0.05$ , obteniendo como valor de significancia  $p = 0.217$ , el cual es menor a  $\alpha=0.05$ , por lo que nos permite aceptar la hipótesis alternativa de que la concentración de Arsénico en el río San Pablo, según el ECA, en tiempo de sequía, es mayor a la concentración en tiempos de lluvia. [ver numeral 6.7.1 a)].
- ✓ En la prueba de hipótesis 2 – Cobre (Cu), la concentración de Cu en el río San Pablo, según ECA en tiempo de sequía (H1), es mayor a la concentración en tiempos de lluvia; por tanto  $H1: \mu_s > \mu_{LL}$  y  $\alpha = 0.05$ , obteniendo como valor de significancia  $p = 0.001$ , el cual es menor a  $\alpha=0.05$ , nos permite aceptar la hipótesis alternativa de que la concentración de Cobre en el río San Pablo, según el ECA, en tiempo de sequía, es mayor a la concentración en tiempos de lluvia. [ver numeral 6.7.1 b)].
- ✓ En la prueba de hipótesis 3 – Hierro (Fe), la concentración de Hierro en el río San Pablo, según ECA en tiempo de sequía (H1), es mayor a la concentración en tiempos de lluvia; por tanto  $H1: \mu_s > \mu_{LL}$  y  $\alpha = 0.05$ , el valor de significancia  $p = 0.2970$ , el cual es mayor a  $\alpha=0.05$ , nos permite rechazar la hipótesis alternativa de que la concentración de Hierro en el río San Pablo, según el ECA, en tiempo de sequía, es mayor a la concentración en tiempos de lluvia, concluyéndose que no existe diferencia significativa. [ver numeral 6.7.1 c)].
- ✓ La prueba de hipótesis 4 – Plomo (Pb), la concentración de Plomo en el río San Pablo, según ECA en tiempo de sequía, es mayor a la concentración en tiempos de lluvia (H1); por tanto  $H1: \mu_s > \mu_{LL}$  y  $\alpha = 0.05$ , el valor de significancia  $p = 0.006$ , el cual es menor a  $\alpha=0.05$ , nos permite aceptar la hipótesis alternativa de que la concentración de Plomo en el río San Pablo, según el ECA, en tiempo de sequía, es mayor a la concentración en tiempo de lluvia. [ver numeral 6.7.1 d)].

- ✓ En la prueba de hipótesis 5 – Zinc (Zn), la concentración de Zinc en el río San Pablo, según ECA en tiempo de sequía, es mayor a la concentración en tiempos de lluvia (H1), por tanto  $H1: \mu_S > \mu_{LL}$  y  $\alpha = 0.05$ , el valor de significancia  $p = 0.0013$ , el cual es menor a  $\alpha=0.05$ , nos permite aceptar la hipótesis alternativa de que la concentración de Zinc en el río San Pablo, según el ECA, en tiempo de sequía, es mayor a la concentración en tiempo de lluvia. [ver numeral 6.7.1 e)].
- ✓ En la prueba de hipótesis 5 – pH, el pH en el río San Pablo, según ECA en tiempo de sequía, es mayor a la concentración en tiempos de lluvia (H1); por tanto  $H1: \mu_S > \mu_{LL}$  y  $\alpha = 0.05$ , siendo el valor de significancia  $p = 0.7510$ , el cual es mayor a  $\alpha=0.05$ , nos permite rechazar la hipótesis alternativa de que el pH en el río San Pablo, según el ECA, en tiempo de sequía, es más ácido que en tiempos de lluvia, concluyéndose que no existe diferencia significativa. [ver numeral 6.7.1 f)].

## **7.6 Discusión de resultados para determinar si existe contaminación en el río San Pablo en tiempo de sequía y en tiempo de lluvia.**

### **En tiempo de sequía:**

- ✓ La prueba de hipótesis 1 – Arsénico (As), que la concentración de Arsénico en el río San Pablo, en tiempo de sequía, es mayor a 0.1 (ppm) (según el ECA) (H1), teniendo a  $H1: \mu_S > 0.1$  y  $\alpha = 0.05$ ; tiene como resultado al valor de significancia  $p = 0.9954$  el cual es mayor a  $\alpha=0.05$ , esto nos permite rechazar la hipótesis alternativa que la concentración de Arsénico en tiempo de sequía es mayor a 0.1 ( ppm), concluyéndose que no existe contaminación por Arsénico, en el río San Pablo. [ver numeral 6.7.2 A literal a)].
- ✓ La prueba de hipótesis 2 – Cobre (Cu), que la concentración de Cobre en el río San Pablo, en tiempo de sequía, es mayor a 0.2 (ppm) (según el ECA) (H1), tiene que  $H1: \mu_S > 0.2$  y  $\alpha = 0.05$ , siendo como resultado el valor de significancia  $p = 0.0918$  el cual es mayor a  $\alpha=0.05$ , lo que permite rechazar la hipótesis alternativa que la concentración del Cobre en tiempo de sequía es mayor a 0.2 ( ppm), concluyéndose que no existe contaminación por

- Cobre, en el río San Pablo y que el valor que presenta la muestra, es por variaciones del muestreo. [ver numeral 6.7.2 A literal b)].
- ✓ La prueba de hipótesis 3 – Hierro (Fe), que la concentración de Hierro en el río San Pablo, en tiempo de sequía, es mayor a 5 (ppm) (según el ECA) (H1), determina que  $H1: \mu S > 5$  y  $\alpha = 0.05$ ; resultando como el valor de significancia  $p = 1.000$  el cual es mayor a  $\alpha=0.05$ , lo que permite rechazar la hipótesis alternativa que la concentración de Hierro en tiempo de sequía es mayor a 0.05 ( ppm), concluyéndose que no existe contaminación por Hierro, en el río San Pablo. [ver numeral 6.7.2 A literal c)].
  - ✓ La prueba de hipótesis 4 – Plomo (Pb), que la concentración de Plomo en el río San Pablo, en tiempo de sequía, es mayor a 0.05 (ppm) (según el ECA) (H1), tiene que  $H1: \mu S > 0.05$  y  $\alpha = 0.05$ ; determinando como valor de significancia  $p = 0.0005$  el cual es menor a  $\alpha=0.05$ , lo que permite aceptar la hipótesis alternativa que la concentración de Plomo en tiempo de sequía es mayor a 0.05 (ppm), concluyéndose que existe contaminación por Plomo, en el río San Pablo. [ver numeral 6.7.2 A literal d)].
  - ✓ La prueba de hipótesis 5 – Zinc (Zn), que la concentración de Zinc en el río San Pablo, en tiempo de sequía, es mayor a 2 (ppm) (según el ECA) (H1), tiene a  $H1: \mu S > 2$  y  $\alpha = 0.05$ ; estableciendo como valor de significancia  $p = 1.000$  el cual es mayor a  $\alpha=0.05$ , lo que permite rechazar la hipótesis alternativa que la concentración de Zinc en tiempo de sequía es mayor a 2 ( ppm), concluyéndose que no existe contaminación por Zinc, en el río San Pablo. [ver numeral 6.7.2 A literal d)].

#### **En tiempo de lluvia:**

- ✓ La prueba de hipótesis 1 – Arsénico (As), que la concentración de Arsénico en el río San Pablo, en tiempo de lluvia, es mayor a 0.1 (ppm) (según el ECA) (H1), tiene que  $H1: \mu LL > 0.1$  y  $\alpha = 0.05$ ; estableciendo como valor de significancia  $p = 0.9998$ , el cual es mayor a  $\alpha=0.05$ , que permite rechazar la hipótesis alternativa que la concentración del Arsénico en tiempo de lluvia es mayor a 0.1 (ppm), concluyéndose que no existe contaminación por Arsénico, en el río San Pablo. [ver numeral 6.7.2 B literal a)].

- ✓ La prueba de hipótesis 2 – Cobre (Cu), que la concentración de Cobre en el río San Pablo, en tiempo de lluvia, es mayor a 0.2 (ppm) (según el ECA) (H1), tiene que  $H1: \mu_{LL} > 0.2$  y  $\alpha = 0.05$ ; determinando como valor de significancia  $p = 1.000$  el cual es mayor a  $\alpha=0.05$ , lo que permite rechazar la hipótesis alternativa de que la concentración del Cobre en tiempo de lluvia es mayor a 0.2 (ppm), concluyéndose que no existe contaminación por Cobre, en el río San Pablo. [ver numeral 6.7.2 B literal b)].
  
- ✓ La prueba de hipótesis 3 – Hierro (Fe), que la concentración de Hierro en el río San Pablo, en tiempo de lluvia, es mayor a 5 (ppm) (según el ECA) (H1), teniendo a  $H1: \mu_{LL} > 5$  y  $\alpha = 0.05$ ; estableciendo como valor de significancia  $p = 1.000$  el cual es mayor a  $\alpha=0.05$ , esto permite rechazar la hipótesis alternativa de que la concentración del Hierro en tiempo de lluvia es mayor a 5 (ppm), concluyéndose que no existe contaminación por Hierro, en el río San Pablo. [ver numeral 6.7.2 B literal c)].
  
- ✓ La prueba de hipótesis 4 – Plomo (Pb), que la concentración de Plomo en el río San Pablo, en tiempo de lluvia, es mayor a 0.05 (ppm) (según el ECA) (H1), establece a  $H1: \mu_{LL} > 0.05$  y  $\alpha = 0.05$ ; determinando como valor de significancia  $p = 1.000$  el cual es mayor a  $\alpha=0.05$ , lo que permite rechazar la hipótesis alternativa de que la concentración de Plomo en tiempo de lluvia es mayor a 0.05 (ppm), concluyéndose que no existe contaminación por Plomo, en el río San Pablo. [ver numeral 6.7.2 B literal d)].
  
- ✓ La prueba de hipótesis 5 – Zinc (Zn), que la concentración de Zinc en el río San Pablo, en tiempo de lluvia, es mayor a 2 (ppm) (según el ECA) (H1), tiene a  $H1: \mu_{LL} > 2$  y  $\alpha = 0.05$ ; estableciendo como valor de significancia  $p = 1.000$  el cual es mayor a  $\alpha=0.05$ , lo que permite rechazar la hipótesis alternativa de que la concentración de Zinc en tiempo de lluvia es mayor a 2 (ppm), concluyéndose que no existe contaminación por Zinc, en el río San Pablo. [ver numeral 6.7.2 B literal e)].

## CONCLUSIONES

- Se realizó el muestreo de agua 500m dentro de la galería del nivel 6 de la Mina Paredones, de la escorrentía del depósito de relave y 500m aguas arriba de la bocamina del nivel 6, frente a la bocamina y 500m pasando el depósito de relave en el río San Pablo, concluyéndose que en tiempo de sequía existe alta concentración de Pb en el agua del Río San Pablo y de As, Fe y Zn dentro de la galería del nivel 6. En tiempo de lluvia sólo existe concentración muy alta de Cu, Fe, Pb y Zn en la escorrentía del depósito de relave.
- Se determinó las propiedades geoquímicas del agua de las muestras tomadas en los puntos de muestreo P1, P2, P3, P4 y P5, con los resultados de análisis emitidos por el Laboratorio Regional de Agua del Gobierno Regional de Cajamarca y por el Laboratorio Ingeconsult & Lab SRL. Cada laboratorio realizó análisis de las muestras en etapas diferentes; el Laboratorio Ingeconsult & Lab SRL realizó los análisis para el tiempo de sequía, salvo la muestra P2 que lo realizó el Laboratorio Regional de Agua del Gobierno Regional de Cajamarca al igual que las muestras en tiempo de lluvia.
- Se evaluó y analizó la concentración de metales de As, Cu, Fe, Pb, Zn; resultando que en tiempo de sequía y en tiempo de lluvia existe mayor concentración de metales en:

### Concentración de metales > a los ECA y LMP

	As	Cu	Fe	Pb	Zn
Época de sequía.	P2, P3, P5	-	P2	P1, P3, P5	P2, P3, P5
Época de Lluvia.	P4	P4	P2, P4	P4	P2, P4

Sin embargo esta concentración de metales son contaminantes para el agua del Río San Pablo; pero al entrar en contacto con el agua de este río con el caudal se diluye, por ello después de la prueba de hipótesis se concluye que no existe contaminación en el agua del río San Pablo.

- En el análisis para determinar si existe diferencia significativa entre la concentración de metales en tiempo de sequía y tiempo de lluvia, a un nivel de

significancia del 0.05 ( $\alpha=0.05$ ), se concluye que la concentración de As ( $p=0.217$ ), Cu ( $p=0.0001$ ), Pb ( $p=0.0006$ ) y Zn ( $p=0.0013$ ) en el agua del río San Pablo según el ECA, en tiempo de sequía es mayor la concentración de estos metales que en tiempo de lluvia, por ser el valor de significancia menor a 0.05. Estadísticamente se rechaza que la concentración de Fe ( $p=0.2970$ ) en el agua del río San Pablo según el ECA, en tiempo de sequía es mayor a la concentración que en tiempo de lluvia, concluyéndose que no existe significancia. Igualmente se rechaza la hipótesis alternativa de que el pH ( $p=0.7510$ ) en el río San Pablo según el ECA, en tiempos de sequía es más ácido que en tiempos de lluvia, concluyéndose que no existe significancia.

- Se determinó comparando con los límites establecidos con el ECA, que no existe contaminación en el río San Pablo, concluyendo que en tiempo de sequía y lluvia no existe contaminación por As, Cu, Fe, Pb, Zn en el río San Pablo.

## RECOMENDACIONES

- Se podrá utilizar la presente tesis como precedente para otras investigaciones y ver la variabilidad de resultados y el impacto que puede seguir causando estos pasivos ambientales.
- Hacer Planes de Trabajo de remediación para las minas abandonadas e inactivas, como parte de labor del estado, como pasivos ambientales inventariados de la Mina Paredones y con un presupuesto para que el Estado realice trabajos de remediación.

## REFERENCIAS

### Bibliografía:

- Aduvire, Osvaldo (2006). Drenaje ácido de mina. Generación y tratamiento. Revista del Instituto Geológico y Minero de España. España.
- Anicama Acosta, Gerson (2008). Estudio experimental del empleo de materiales de desecho de procesos mineros en aplicaciones prácticas con productos cementicos (tesis de titulación). Pontificia Universidad Católica, Perú.
- Arellano, Javier y Guzmán, Jaime (2001, Junio). Ingeniería Ambiental. México.
- Cervantes Macedo, Angelica Hayydee. (2014). Caracterización del drenaje ácido y de las rocas asociadas a una mina para evaluar su posible aplicación en un sistema de tratamiento pasivo. México, DF.
- Crespo, Carlos. (2008). Mecánica de Suelos y Cimentaciones. 6ta Edic. México, D.F.
- Collao Vicentello, Fredie Ademir. (2007). Caracterización y propuesta para la remoción de pasivos ambientales mineros de la zona urbana de la comuna de Andacollo, iv región de Coquimbo – Chile.
- Gallarday B, Tomás E. (2006). Estudio del impacto ambiental de la extracción aurífera artesanal dentro de la jurisdicción política del distrito de Santa Rosa de Quives, provincia de Canta-Huaro-chiri, departamento de Lima.
- Gallarday Bocanegra, Tomas. (2005, Enero). Informe Técnico de la Zona Huayrapongo, área superficial sobre la mina Paredones, ubicada cerca al pueblo de Chilete.
- Hernandez Sampieri, R., Fernandez Collado, C. & Baptista Lucio, P. (2010). Metodología de la Investigación. 5ta Edición, McGraw-Hill / Interamericana Editores, Chile.
- Jakubick, A., McKenna, G. (2003, Mayo). Stabilisation of tailings deposits: international experience Mining and the Environment III, Sudbury, Ontario, Canada.
- Kiely, Gerald (1999). Ingeniería Ambiental (Environmental engineering). McGraw-Hull Interamericana de España S.A.
- Lottermoser, B.G. (2007). Mine Wastes: Characterization, treatment and environmental impacts. Springer 3th ed. Berlin Heidelberg, New York.
- Lottermoser, B.G. (2010). Mine Wastes: Characterization, treatment and environmental impacts. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 3th edic.

- Mihelcic, James. (2008). Fundamentos de la Ingeniería Ambiental. México.
- Salas Megchún, Érik Fabián. (2014, Marzo). Geoquímica y mineralogía de jales en mina Aurora, Xichú, Guanajuato, México.
- Romero, Alfonso. (2008). Estudio de los metales pesados en el relave abandonado de Ticapampa. Perú. Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG Vol. 11, Lima.
- Tovar, M. (2009). Neoformación mineralógico en residuos mineros del distrito minero Zimapán, estado de Hidalgo, México. Minería y Geología, vol. 25

### Webgrafía:

- Alfaro Delgado, Edmundo. (2013). Medición del Potencial de Generación de Agua Ácida para un Relave en la Zona Central del Perú y sus Necesidades de Neutralización. En: [http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/4923/LI\\_S ERGIO\\_MEDICION\\_GENERACION\\_AGUA\\_RELAVE\\_ZONA\\_CENTRAL\\_PERU\\_NECESIDADES\\_NEUTRALIZACION.pdf?sequence=1](http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/4923/LI_S ERGIO_MEDICION_GENERACION_AGUA_RELAVE_ZONA_CENTRAL_PERU_NECESIDADES_NEUTRALIZACION.pdf?sequence=1)
- Arango Aramburú, Marcelo. (2012). Drenaje Ácido De La Minería. Minería y contaminación de Agua en la Columbia Británica, Canadá. En: <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:Qr5goQcyWzsJ:biblioteca.unmsm.edu.pe/redlieds/Recursos/archivos/MineriaDesarrolloSostenible/MedioAmbiente/acid%2520mine%2520drainage%2520espanol.doc+&cd=2&hl=es-419&ct=clnk&gl=pe>
- Arango Aramburú, Marcelo. (2012). Problemática de los pasivos ambientales mineros en Colombia. En: <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:OsxA3qrnNb0J:www.redalyc.org/html/1694/169424893009/+&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=pe>
- Alva Huamán, Daniel. Practica de campo a mina. En: <http://docslide.us/documents/informe-paredones.html>
- Carranza, Luis. Cap. VII. Preparación General de una Mina Subterránea. En: [https://www.academia.edu/7738863/CAP\\_VII\\_PREPARACION\\_GENERAL\\_DE\\_UNA\\_MINA\\_SUBTERRANEA](https://www.academia.edu/7738863/CAP_VII_PREPARACION_GENERAL_DE_UNA_MINA_SUBTERRANEA)
- CESEL S.A. Informe Final – Estudio de evaluación ambiental territorial y de planeamientos para la reducción o eliminación de la contaminación de origen minero en la cuenca del río Santa. En: <https://es.scribd.com/doc/282213833/Cuenca-Del-Santa>
- Carrera Castro, Wilmer Alonzo. Influencia del vertido del efluente líquido de la Compañía Minera Aurex S.A. en el ecosistema acuático del Río San Juan. En: <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:d51h2AHBtHcJ:c>

[ip.org.pe/imagenes/temp/tesis/42890481.doc+&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=pe](http://ip.org.pe/imagenes/temp/tesis/42890481.doc+&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=pe)

- Consejo de la Minería Ambiental de la Columbia Británica. La Columbia Británica, Canadá. Drenaje Ácido De La Minería. En: <https://www.google.com.pe/#q=DRENAJE+DE+AGUA+SUBTERRANEA+E+N+MINAS+ABANDONADAS>
- Decreto Supremo N° 033-2005-EM. Reglamento para el Cierre de Minas. En: [http://www.fonamperu.org/general/pasivos/documentos/reglamento\\_cierredeminas.pdf](http://www.fonamperu.org/general/pasivos/documentos/reglamento_cierredeminas.pdf)
- Decreto Supremo N° 059-2005-EM. Reglamento de Pasivos Ambientales de la Actividad Minera. En: [http://www.fonamperu.org/general/pasivos/documentos/reglamento\\_pam.pdf](http://www.fonamperu.org/general/pasivos/documentos/reglamento_pam.pdf)
- Grupo Geotecnia. (2010). Capítulo 12 – Geotécnia. En: [http://www.conanma.com/descargas/cap\\_12\\_geotecnia.pdf](http://www.conanma.com/descargas/cap_12_geotecnia.pdf)
- Ley N° 28271. Ley que regula los pasivos ambientales de la actividad minera. En: [http://www.fonamperu.org/general/pasivos/documentos/ley\\_pam.pdf](http://www.fonamperu.org/general/pasivos/documentos/ley_pam.pdf)
- Mitigación de drenaje ácido en minas subterráneas aplicando fangos artificiales. Caso: mina Orcopampa. En: [http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/geologia/vol9\\_n17/a09.pdf](http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/geologia/vol9_n17/a09.pdf)
- Néstor Arroyo Salinas. Estudio de Diagnóstico y Zonificación de la Provincia San Pablo para el tratamiento de la demarcación y organización Territorial. En: [http://dt.regioncajamarca.gob.pe/sites/default/files/documentos/EDZ/san\\_pablo/doc/Documento%20Descriptivo.pdf](http://dt.regioncajamarca.gob.pe/sites/default/files/documentos/EDZ/san_pablo/doc/Documento%20Descriptivo.pdf)
- Revista Perú 21. Hay 850 minas cerradas que dañan el ambiente. En: <http://peru21.pe/noticia/231670/hay-850-minas-cerradas-que-danan-ambiente>
- S/A. Fondo Nacional del Ambiente-Perú. Tipos de Pasivos Ambientales Mineras. En: <http://www.fonamperu.org/general/pasivos/pasivos.php>
- S/A. SIAN - Sistema de Información Ambiental Nacional. Glosario Ambiental. En: <http://www.ambiente.gov.ar/?idseccion=55&aplicacion=glosario&IdPalabra=3671>
- S/A. Evaluación Ambiental Territorial de la Cuenca del Río Llaucano. En: <http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGAAM/publicaciones/evats/llaucano/llaucan6.pdf>

- S/A. Guía Ambiental para el Manejo de Drenaje Acido de Minas. En: <http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGAAM/guias/manedrenaje.pdf>
- S/A. "INTRODUCCIÓN (Drenaje Ácido de Mina: Prevención, Atenuación natural y Tratamiento pasivo). En: <http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/6621/05.pdf?sequence=6&isAllowed=y>
- S/A. Inventario, Diagnóstico y Priorización de los Pasivos Ambientales en la Cuenca del Río Llaucano – Hualgayoc. En: [http://www.fonamperu.org/general/pasivos/documentos/inventario\\_pam.pdf](http://www.fonamperu.org/general/pasivos/documentos/inventario_pam.pdf)
- S/A. Ingeniería Ambiental (2006). Residuos Mineros. Perú, extraído de: <http://www.uhu.es/emilio.romero/docencia/Residuos%20Mineros.pdf>
- Sociedad Nacional de Minería Petróleo y Energía. Informe quincenal de la snmpe. En: <http://www.snmpe.org.pe/pdf/Informe-Quincenal-Multisectorial-Pasivos-ambientales.pdf>
- Sociedad Nacional de Minería y Petróleo y Energía. (Noviembre II, 2004). En: <http://www.snmpe.org.pe/informes-y-publicaciones-snmpe/boletin-estadistico-mensual/mineria/bolet%C3%ADn-mensual-miner%C3%ADa-diciembre-2014.html>
- Tovar Pacheco, Jorge A. (2001). El Agua Subterránea en el Medio Ambiente Minero y su Importancia en los Planes de Cierre. En: [http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/dgaam/publicaciones/curso\\_cierreminas/02\\_T%C3%A9cnico/02\\_Hidrolog%C3%ADa/TechHidro-L2\\_Aguas%20Subterr%C3%A1neas.pdf](http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/dgaam/publicaciones/curso_cierreminas/02_T%C3%A9cnico/02_Hidrolog%C3%ADa/TechHidro-L2_Aguas%20Subterr%C3%A1neas.pdf)
- Vicente Díaz, Uriarte y otros. Boletín Hidrometeorológico Regional SENAMHI Cajamarca – La Libertad. En: <http://www.senamhi.gob.pe/load/file/03701SENA-25.pdf>
- Vicente Díaz, Uriarte y otros. Boletín Hidrometeorológico Regional SENAMHI Cajamarca – La Libertad. En: <http://www.senamhi.gob.pe/load/file/03701SENA-30.pdf>
- Villachica, C. y Sinche, C.; (1984). Reporte de Muestreo de Relaves El Molino – San Luis Gold Mines. C.M.A. El Molino S.A.
- Wikipedia; (2016). La Enciclopedia Libre. Permeabilidad. En: <https://es.wikipedia.org/wiki/Permeabilidad>
- Wikipedia; (2016). La Enciclopedia Libre. Sulfato. En: <https://es.wikipedia.org/wiki/Sulfato>



## ANEXO Nº 2: RESULTADOS GEOQUÍMICOS P1 – MINA PAREDONES – RÍO SAN PABLO

### Figura 31: Resultados geoquímicos del P1 por INGECONSULT & LAB SRL



Ensayos Físicos, Químicos y de Mecánica de Suelos, Concreto y Pavimentos, Análisis Químicos de Minerales y Agua. Estudio de: Mecánica de Suelos y Rocas, Concreto y Pavimentos. Impacto Ambiental, Construcción de Edificios, Obras de Ingeniería Civil. PROYECTOS – ASESORIA Y CONSULTORIA RPM: \*696826 CELULAR: 976026950 TELEFONO: 364793



Ensayos Físicos, Químicos y de Mecánica de Suelos, Concreto y Pavimentos, Análisis Químicos de Minerales y Agua. Estudio de: Mecánica de Suelos y Rocas, Concreto y Pavimentos. Impacto Ambiental, Construcción de Edificios, Obras de Ingeniería Civil. PROYECTOS – ASESORIA Y CONSULTORIA RPM: \*696826 CELULAR: 976026950 TELEFONO: 364793

#### ANÁLISIS FISCOQUÍMICO DE UNA MUESTRA DE AGUA

SOLICITA : ELIZABETH CHACÓN MARÍN  
 PROYECTO : ANÁLISIS FISCOQUÍMICO PARA (ECA) CALIDAD DE AGUA CATEGORÍA (4)-PROYECTO DE TESIS  
 MUESTRA : Nro. 1. Del pto. Uno de Río San Pablo - Paredones  
 FECHA : 09/07/2015

#### RESULTADOS DE ANÁLISIS

##### ANÁLISIS ORGANOLÉPTICO

Nº ORDEN	CARACTERÍSTICAS	MEDIDAS	RESULTADOS
1	ASPECTO	-	TRANSPARENTE
2	OLOR	-	INODORO
3	COLOR	-	INCOLORO
4	SABOR	-	DESAGRADABLE
5	SEDIMENTOS	-	NULO

##### ANÁLISIS FÍSICO

Nº ORDEN	CARACTERÍSTICAS	MEDIDAS	RESULTADOS
1	pH	Unid.	7.90
2	TEMPERATURA	° C	19
3	SÓLIDOS TOTALES	Ppm	130
3	SÓLIDOS SUSPENSIÓN	ppm	80
4	SÓLIDOS DISUELTOS	ppm	50
9	TURBIDEZ	NTU	1

*Hugo Mosquera Estrayer*  
 Hugo Mosquera Estrayer  
 Jefe Lab. Químico  
 I.Q. CIP 27654

#### ANÁLISIS QUÍMICO

Nº ORDEN	CARACTERÍSTICAS	MEDIDAS	RESULTADOS
1	ALCALINIDAD TOTAL (CaCO <sub>3</sub> )	ppm	28.5
2	CLORUROS (Cl <sup>-</sup> )	ppm	65.6
3	SULFATOS (SO <sub>4</sub> ) <sup>2-</sup>	ppm	79.4
4	DUREZA TOTAL (CaCO <sub>3</sub> )	ppm	80
5	DUREZA CALCIO (CaCO <sub>3</sub> )	ppm	45
6	DUREZA MAGNESIO (CaCO <sub>3</sub> )	ppm	35

#### ANÁLISIS DE METALES

Nº ORDEN	CARACTERÍSTICAS	MEDIDAS	RESULTADOS
1	CIANURO	ppm	0.1
2	ARSENICO	ppm	0.04
3	COBRE	ppm	0.2
4	PLOMO	ppm	0.1
5	ZINC	ppm	0.03
6	HIERRO	ppm	0.3

NOTA: LA MUESTRA FUE ALCANZADA A ESTE LABORATORIO PARA SU ANÁLISIS RESPECTIVO

*Hugo Mosquera Estrayer*  
 Hugo Mosquera Estrayer  
 Jefe Lab. Químico  
 I.Q. CIP 27664

## ANEXO Nº 3: RESULTADOS GEOQUÍMICOS P2 – MINA PAREDONES – RÍO SAN PABLO

Figura 32: Resultados geoquímicos del P2 por INGECONSULT & LAB SRL



Ensayos Físicos, Químicos y de Mecánica de Suelos,  
Concreto y Pavimentos, Análisis Químicos de Minerales y Agua.  
Estudio de: Mecánica de Suelos y Rocas, Concreto y Pavimentos.  
Impacto Ambiental, Construcción de Edificios, Obras de Ingeniería Civil.  
PROYECTOS – ASESORIA Y CONSULTORIA  
RPM: \*696826 CELULAR: 976026950 TELEFONO: 364793

### ANÁLISIS FISICOQUÍMICO DE UNA MUESTRA DE AGUA

SOLICITA : ELIZABETH CHACÓN MARÍN  
PROYECTO : ANÁLISIS FISICOQUÍMICO PARA (ECA) CALIDAD DE AGUA  
CATEGORÍA (4)-PROYECTO DE TESIS  
MUESTRA : Nro. 2. Drenaje ácido del interior mina punto 6. Paredones  
FECHA : 09/07/2015

#### RESULTADOS DE ANÁLISIS

#### ANÁLISIS ORGANOLÉPTICO

Nº ORDEN	CARACTERÍSTICAS	MEDIDAS	RESULTADOS
1	ASPECTO	-	TRANSPARENTE
2	OLOR	-	INODORO
3	COLOR	-	INCOLORO
4	SABOR	-	DESAGRADABLE
5	SEDIMENTOS	-	NULO

#### ANÁLISIS FÍSICO

Nº ORDEN	CARACTERÍSTICAS	MEDIDAS	RESULTADOS
1	pH	Unid.	4.50
2	TEMPERATURA	° C	18
3	SÓLIDOS TOTALES	ppm	150
3	SÓLIDOS SUSPENSIÓN	ppm	90
4	SÓLIDOS DISUELTOS	ppm	60
9	TURBIDEZ	NTU	1

*Mosqueira Estraver*  
Rigo Mosqueira Estraver  
Jefe Lab. Químico  
I.Q. CIP 27864



Ensayos Físicos, Químicos y de Mecánica de Suelos,  
Concreto y Pavimentos, Análisis Químicos de Minerales y Agua.  
Estudio de: Mecánica de Suelos y Rocas, Concreto y Pavimentos.  
Impacto Ambiental, Construcción de Edificios, Obras de Ingeniería Civil.  
PROYECTOS – ASESORIA Y CONSULTORIA  
RPM: \*696826 CELULAR: 976026950 TELEFONO: 364793

### ANÁLISIS QUÍMICO

Nº ORDEN	CARACTERÍSTICAS	MEDIDAS	RESULTADOS
1	ALCALINIDAD TOTAL CaCO <sub>3</sub>	ppm	12.8
2	CLORUROS (Cl <sup>-</sup> )	ppm	68.7
3	SULFATOS (SO <sub>4</sub> ) <sup>2-</sup>	ppm	62.3
4	DUREZA TOTAL (CaCO <sub>3</sub> )	ppm	27
5	DUREZA CALCIO (CaCO <sub>3</sub> )	ppm	12
6	DUREZA MAGNESIO (CaCO <sub>3</sub> )	ppm	15

### ANÁLISIS DE METALES

Nº ORDEN	CARACTERÍSTICAS	MEDIDAS	RESULTADOS
1	CIANURO	ppm	0.13
2	ARSENICO	ppm	0.08
3	COBRE	ppm	0.4
4	PLOMO	ppm	0.12
5	ZINC	ppm	0.08
6	HIERRO	ppm	0.5

NOTA: LA MUESTRA FUE ALCANZADA A ESTE LABORATORIO PARA SU ANÁLISIS RESPECTIVO

*Mosqueira Estraver*  
Mosqueira Estraver  
Jefe Lab. Químico  
I.Q. CIP 27864

## ANEXO Nº 4: RESULTADOS GEOQUÍMICOS P2 – MINA PAREDONES – RÍO SAN PABLO

Figura 33: Resultados geoquímicos del P2 por LABORATORIO REGIONAL DE AGUA – GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA.

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INDECOPI- SNA CON REGISTRO Nº LE-084



IE0715077

ENSAYOS			QUÍMICOS						
Código Cliente	M-NºII		-	-	-	-	-	-	-
Código Laboratorio	0715077-01		-	-	-	-	-	-	-
Matriz de Agua	NATURAL		-	-	-	-	-	-	-
Descripción	Subterránea		-	-	-	-	-	-	-
Localización de la Muestra	500m Punto G M. Paredones		-	-	-	-	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados						
Plata (Ag)	mg/L	0.004	<LCM	-	-	-	-	-	-
Aluminio (Al)	mg/L	0.021	0.261	-	-	-	-	-	-
Arsénico (As)	mg/L	0.002	1.179	-	-	-	-	-	-
Boro (B)	mg/L	0.095	0.726	-	-	-	-	-	-
Bario (Ba)	mg/L	0.024	<LCM	-	-	-	-	-	-
Berilio (Be)	mg/L	0.001	<LCM	-	-	-	-	-	-
Bismuto (Bi)	mg/L	0.002	0.003	-	-	-	-	-	-
Cadmio (Cd)	mg/L	0.001	0.013	-	-	-	-	-	-
Cobalto (Co)	mg/L	0.011	0.007	-	-	-	-	-	-
Cromo (Cr)	mg/L	0.001	0.020	-	-	-	-	-	-
Cobre (Cu)	mg/L	0.003	<LCM	-	-	-	-	-	-
Litio (Li)	mg/L	0.003	0.248	-	-	-	-	-	-
Manganeso (Mn)	mg/L	0.002	5.620	-	-	-	-	-	-
Molibdeno (Mo)	mg/L	0.036	<LCM	-	-	-	-	-	-
Níquel (Ni)	mg/L	0.002	<LCM	-	-	-	-	-	-
Fósforo (P)	mg/L	0.019	0.031	-	-	-	-	-	-
Plomo (Pb)	mg/L	0.003	0.015	-	-	-	-	-	-
Azufre (S)	mg/L	0.165	844.9	-	-	-	-	-	-
Antimonio (Sb)	mg/L	0.002	<LCM	-	-	-	-	-	-
Selenio (Se)	mg/L	0.004	<LCM	-	-	-	-	-	-
Silice (Si)	mg/L	0.037	10.22	-	-	-	-	-	-
Estroncio (Sr)	mg/L	0.006	4.086	-	-	-	-	-	-
Titanio (Ti)	mg/L	0.004	<LCM	-	-	-	-	-	-
Talio (Tl)	mg/L	0.004	0.008	-	-	-	-	-	-
Uranio (U)	mg/L	0.003	<LCM	-	-	-	-	-	-
Vanadio (V)	mg/L	0.006	1.589	-	-	-	-	-	-
Zinc (Zn)	mg/L	0.004	8.153	-	-	-	-	-	-
Calcio (Ca)	mg/L	0.066	523.4	-	-	-	-	-	-
Hierro (Fe)	mg/L	0.019	30.20	-	-	-	-	-	-
Potasio (K)	mg/L	0.171	27.18	-	-	-	-	-	-
Magnesio (Mg)	mg/L	0.022	434.3	-	-	-	-	-	-
Sodio (Na)	mg/L	0.095	147.2	-	-	-	-	-	-

Cajamarca, 20 de Julio de 2015.

Cód: RTI-5.10-01 Fecha de Emisión: 26/08/2014 Rev: N°04

Página: 3 de 5

## ANEXO Nº 5: RESULTADOS GEOQUÍMICOS P3 – MINA PAREDONES – RÍO SAN PABLO

Figura 34: Resultados geoquímicos del P3 por INGECONSULT & LAB SRL



Ensayos Físicos, Químicos y de Mecánica de Suelos,  
Concreto y Pavimentos, Análisis Químicos de Minerales y Agua.  
Estudio de: Mecánica de Suelos y Rocas, Concreto y Pavimentos.  
Impacto Ambiental, Construcción de Edificios, Obras de Ingeniería Civil.  
PROYECTOS – ASESORIA Y CONSULTORIA  
RPM: \*696826 CELULAR: 976026950 TELEFONO: 364793

### ANÁLISIS QUÍMICO

Nº ORDEN	CARACTERÍSTICAS	MEDIDAS	RESULTADOS
1	ALCALINIDAD TOTAL $\text{CaCO}_3$	Ppm	18.9
2	CLORUROS ( $\text{Cl}^-$ )	Ppm	71.4
3	SULFATOS ( $\text{SO}_4^{2-}$ )	Ppm	68.2
4	DUREZA TOTAL ( $\text{CaCO}_3$ )	Ppm	68
5	DUREZA CALCIO ( $\text{CaCO}_3$ )	Ppm	35
6	DUREZA MAGNESIO ( $\text{CaCO}_3$ )	Ppm	33

### ANÁLISIS DE METALES PESADOS

Nº ORDEN	CARACTERÍSTICAS	MEDIDAS	RESULTADOS
1	CIANURO	mg/l	0.1
2	ARSÉNICO	mg/l	0.05
3	COBRE	mg/l	0.21
4	PLOMO	mg/l	0.11
5	ZINC	mg/l	0.03
6	HIERRO	mg/l	0.3

NOTA: LA MUESTRA FUE ALCANZADA A ESTE LABORATORIO PARA SU ANÁLISIS RESPECTIVO



Hugo Mosquera Estraver  
Jefe Lab. Químico  
I.Q. CIP 27864

## ANEXO Nº 6: RESULTADOS GEOQUÍMICOS P4 – MINA PAREDONES – RÍO SAN PABLO

Figura 35: Resultados geoquímicos del P4 por INGECONSULT & LAB SRL



Ensayos Físicos, Químicos y de Mecánica de Suelos, Concreto y Pavimentos, Análisis Químicos de Minerales y Agua.  
Estudio de: Mecánica de Suelos y Rocas, Concreto y Pavimentos.  
Impacto Ambiental, Construcción de Edificios, Obras de Ingeniería Civil.  
PROYECTOS – ASESORIA Y CONSULTORIA  
RPM: \*696826 CELULAR: 976026950 TELEFONO: 364793



Ensayos Físicos, Químicos y de Mecánica de Suelos, Concreto y Pavimentos, Análisis Químicos de Minerales y Agua.  
Estudio de: Mecánica de Suelos y Rocas, Concreto y Pavimentos.  
Impacto Ambiental, Construcción de Edificios, Obras de Ingeniería Civil.  
PROYECTOS – ASESORIA Y CONSULTORIA  
RPM: \*696826 CELULAR: 976026950 TELEFONO: 364793

### ANÁLISIS QUÍMICO

Nº ORDEN	CARACTERÍSTICAS	MEDIDAS	RESULTADOS
1	ALCALINIDAD TOTAL CaCO <sub>3</sub>	Ppm	18.9
2	CLORUROS (Cl <sup>-</sup> )	Ppm	71.4
3	SULFATOS (SO <sub>4</sub> ) <sup>2-</sup>	Ppm	68.2
4	DUREZA TOTAL (CaCO <sub>3</sub> )	Ppm	68
5	DUREZA CALCIO (CaCO <sub>3</sub> )	Ppm	35
6	DUREZA MAGNESIO (CaCO <sub>3</sub> )	Ppm	33

### ANÁLISIS DE METALES PESADOS

Nº ORDEN	CARACTERÍSTICAS	MEDIDAS	RESULTADOS
1	CIANURO	mg/l	0.1
2	ARSÉNICO	mg/l	0.05
3	COBRE	mg/l	0.21
4	PLOMO	mg/l	0.11
5	ZINC	mg/l	0.03
6	HIERRO	mg/l	0.3

NOTA: LA MUESTRA FUE ALCANZADA A ESTE LABORATORIO PARA SU ANÁLISIS RESPECTIVO

  
Hugo Mosquera Estraver  
Jefe Lab. Químico  
I.Q. CIP 27664

### ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE UNA MUESTRA DE AGUA

SOLICITA : ELIZABETH CHACÓN MARÍN  
PROYECTO : ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO PARA (ECA) CALIDAD DE AGUA CATEGORÍA (4)-PROYECTO DE TESIS  
MUESTRA : Nro. 4. Aguas abajo pasando el relave de mina Paredones del cuarto punto  
FECHA : 09/07/2015

### RESULTADOS DE ANÁLISIS

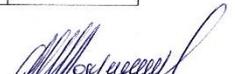
#### ANÁLISIS ORGANOLÉPTICO

Nº ORDEN	CARACTERÍSTICAS	MEDIDAS	RESULTADOS
1	ASPECTO	-	TRANSPARENTE
2	OLOR	-	INODORO
3	COLOR	-	INCOLORO
4	SABOR	-	DESAGRADABLE
5	SEDIMENTOS	-	NULO

#### ANÁLISIS FÍSICO

Nº ORDEN	CARACTERÍSTICAS	MEDIDAS	RESULTADOS
1	pH	Unid.	6.7
2	TEMPERATURA	° C	18
3	SÓLIDOS TOTALES	ppm	170
3	SÓLIDOS SUSPENSIÓN	ppm	100
4	SÓLIDOS DISUELTOS	ppm	70
9	TURBIDEZ	NTU	1

#### ANÁLISIS QUÍMICO

  
Hugo Mosquera Estraver  
Jefe Lab. Químico  
I.Q. CIP 27664

## ANEXO Nº 7: RESULTADOS GEOQUÍMICOS P4 – MINA PAREDONES – RÍO SAN PABLO

Figura 36: Resultados geoquímicos del P4 por LABORATORIO REGIONAL DE AGUA – GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA.


  
 LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
 ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA  
 CON REGISTRO N° LE-084

IE0216067

ENSAYOS			FISICOQUÍMICOS						
Código Cliente	Río San Pablo		Río San Pablo	En el Nivel G	Río San Pablo	Río San Pablo	-	-	
Código Laboratorio	0216067-01		0216067-02	0216067-03	0216067-04	0216067-05	-	-	
Matriz de Agua	NATURAL		NATURAL	NATURAL	NATURAL	NATURAL	-	-	
Descripción	Superficial		Superficial	Superficial	Superficial	Superficial	-	-	
Localización de la Muestra	A 500m de Bocamina		Frente a la Bocamina	A 500m dentro de la Bocamina	Frente al Relave	500m Bajo el Relave	-	-	
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados						
Plata (Ag)	mg/L	0.004	NA	NA	NA	NA	<LCM	-	-
Aluminio (Al)	mg/L	0.021	NA	NA	NA	NA	0.483	-	-
Arsénico (As)	mg/L	0.002	NA	NA	NA	NA	0.009	-	-
Boro (B)	mg/L	0.095	NA	NA	NA	NA	<LCM	-	-
Bario (Ba)	mg/L	0.024	NA	NA	NA	NA	0.029	-	-
Berilio (Be)	mg/L	0.001	NA	NA	NA	NA	<LCM	-	-
Bismuto (Bi)	mg/L	0.002	NA	NA	NA	NA	<LCM	-	-
Calcio (Ca)	mg/L	0.066	NA	NA	NA	NA	22.74	-	-
Cadmio (Cd)	mg/L	0.001	NA	NA	NA	NA	<LCM	-	-
Cobalto (Co)	mg/L	0.011	NA	NA	NA	NA	<LCM	-	-
Cromo (Cr)	mg/L	0.001	NA	NA	NA	NA	<LCM	-	-
Cobre (Cu)	mg/L	0.003	NA	NA	NA	NA	<LCM	-	-
Hierro (Fe)	mg/L	0.019	NA	NA	NA	NA	0.226	-	-
Potasio (K)	mg/L	0.171	NA	NA	NA	NA	1.075	-	-
Litio (Li)	mg/L	0.003	NA	NA	NA	NA	<LCM	-	-
Magnesio (Mg)	mg/L	0.022	NA	NA	NA	NA	3.771	-	-
Manganeso (Mn)	mg/L	0.002	NA	NA	NA	NA	0.013	-	-
Molibdeno (Mo)	mg/L	0.036	NA	NA	NA	NA	<LCM	-	-
Sodio (Na)	mg/L	0.095	NA	NA	NA	NA	6.920	-	-
Niquel (Ni)	mg/L	0.002	NA	NA	NA	NA	<LCM	-	-
Fósforo (P)	mg/L	0.019	NA	NA	NA	NA	0.025	-	-
Plomo (Pb)	mg/L	0.003	NA	NA	NA	NA	0.005	-	-
Azufre (S)	mg/L	0.165	NA	NA	NA	NA	8.642	-	-
Antimonio (Sb)	mg/L	0.002	NA	NA	NA	NA	<LCM	-	-
Selenio (Se)	mg/L	0.004	NA	NA	NA	NA	<LCM	-	-
Silice (Si)	mg/L	0.037	NA	NA	NA	NA	8.046	-	-
Estroncio (Sr)	mg/L	0.006	NA	NA	NA	NA	0.167	-	-
Titanio (Ti)	mg/L	0.004	NA	NA	NA	NA	0.006	-	-
Talio (Tl)	mg/L	0.004	NA	NA	NA	NA	<LCM	-	-
Uranio (U)	mg/L	0.003	NA	NA	NA	NA	<LCM	-	-
Vanadio (V)	mg/L	0.006	NA	NA	NA	NA	<LCM	-	-
Zinc (Zn)	mg/L	0.004	NA	NA	NA	NA	0.014	-	-

## ANEXO Nº 7: RESULTADOS GEOQUÍMICOS DEL FLUJO DEL RELAVE – MINA PAREDONES – RÍO SAN PABLO

Figura 37: Resultados geoquímicos del agua - LABORATORIO REGIONAL DE AGUA – GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA.



INACAL  
DA - Perú  
Laboratorio de Ensayo  
Acreditado  
Registro LE- 084

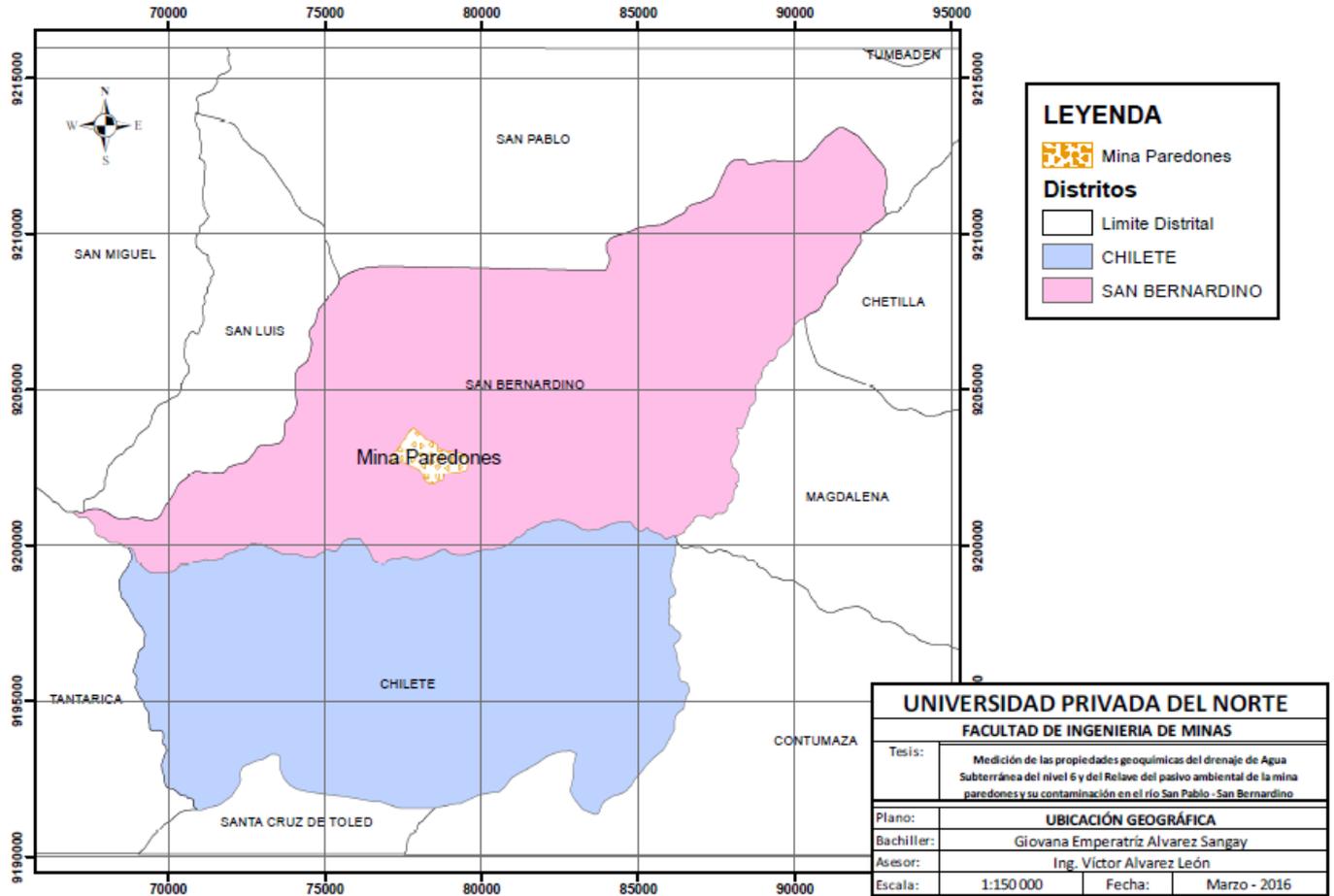
**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA CON REGISTRO Nº LE-084**

IE1215296

ENSAYOS			QUÍMICOS						
Código Cliente			Nivel 6 a 500mt	A 100mt de la Bocamina	Frente Bocamina	Frente Relavera	-	-	-
Código Laboratorio			1215296-01	1215296-02	1215296-03	1215296-04	-	-	-
Matriz de Agua			NATURAL	NATURAL	NATURAL	NATURAL	-	-	-
Descripción			Natural: Superficial	Natural: Superficial	Natural: Superficial	Natural: Superficial	-	-	-
Localización de la Muestra			Dentro de Bocamina	Río San Pablo	Río San Pablo	Escofrentía al Río San Pablo	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados						
Plata (Ag)	mg/L	0.004	0.893	NA	NA	37.20	-	-	-
Aluminio (Al)	mg/L	0.021	0.296	NA	NA	1341	-	-	-
Arsénico (As)	mg/L	0.002	0.014	NA	NA	7.855	-	-	-
Boro (B)	mg/L	0.095	2.145	NA	NA	2.999	-	-	-
Bario (Ba)	mg/L	0.024	<LCM	NA	NA	1.936	-	-	-
Berilio (Be)	mg/L	0.001	<LCM	NA	NA	0.032	-	-	-
Bismuto (Bi)	mg/L	0.002	0.007	NA	NA	0.086	-	-	-
Calcio (Ca)	mg/L	0.066	30.52	NA	NA	14.68	-	-	-
Cadmio (Cd)	mg/L	0.001	0.015	NA	NA	8.740	-	-	-
Cobalto (Co)	mg/L	0.011	<LCM	NA	NA	1.734	-	-	-
Cromo (Cr)	mg/L	0.001	<LCM	NA	NA	1.694	-	-	-
Cobre (Cu)	mg/L	0.003	0.189	NA	NA	49.69	-	-	-
Hierro (Fe)	mg/L	0.019	5.982	NA	NA	1394	-	-	-
Potasio (K)	mg/L	0.171	18.10	NA	NA	91.90	-	-	-
Litio (Li)	mg/L	0.003	0.214	NA	NA	1.349	-	-	-
Magnesio (Mg)	mg/L	0.022	196.2	NA	NA	568.5	-	-	-
Manganeso (Mn)	mg/L	0.002	3.849	NA	NA	220.7	-	-	-
Molibdeno (Mo)	mg/L	0.036	<LCM	NA	NA	0.090	-	-	-
Sodio (Na)	mg/L	0.095	161.6	NA	NA	4.023	-	-	-
Niquel (Ni)	mg/L	0.002	<LCM	NA	NA	0.222	-	-	-
Fósforo (P)	mg/L	0.019	0.046	NA	NA	14.24	-	-	-
Plomo (Pb)	mg/L	0.003	0.017	NA	NA	13.17	-	-	-
Azufre (S)	mg/L	0.165	191.3	NA	NA	893.5	-	-	-
Antimonio (Sb)	mg/L	0.002	<LCM	NA	NA	<LCM	-	-	-
Selenio (Se)	mg/L	0.004	0.021	NA	NA	0.567	-	-	-
Silice (Si)	mg/L	0.037	9.143	NA	NA	121.4	-	-	-
Estroncio (Sr)	mg/L	0.006	3.415	NA	NA	0.291	-	-	-
Titanio (Ti)	mg/L	0.004	<LCM	NA	NA	0.172	-	-	-
Talio (Tl)	mg/L	0.004	0.013	NA	NA	<LCM	-	-	-
Uranio (U)	mg/L	0.003	0.075	NA	NA	11.35	-	-	-
Vanadio (V)	mg/L	0.006	<LCM	NA	NA	1.252	-	-	-
Zinc (Zn)	mg/L	0.004	10.17	NA	NA	374.0	-	-	-
* pH a 25°C	pH	NA	7.88	8.49	8.58	2.42	-	-	-

Cód: RT1-5.10-01 Fecha de Emisión: 26/08/2014 Rev: N°04 Página: 3 de 4

**ANEXO Nº 8: Plano de la ubicación de la Mina Paredones.**



**ANEXO N° 9: MATRIZ DE CONSISTENCIA**  
**Proyecto de Investigación: No Experimental, Longitudinal**

**Título: Medición de las propiedades geoquímicas del drenaje de agua subterránea del nivel 6 y del relave del pasivo ambiental de la mina paredones y su contaminación en el río San Pablo - San Bernardino - Marzo 2016.**

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIACIONES E INDICADORES	MUESTRA	DISEÑO	INSTRUMENTOS	ESTADÍSTICA
<p>¿Midiendo las propiedades geoquímicas del drenaje de agua subterránea del nivel 6 y el relave como pasivos Ambientales de la Mina Paredones, podremos determinar el nivel de contaminación en el río San Pablo?</p>	<p>GENERAL:</p>	<p>La medición de las propiedades geoquímicas del drenaje de agua subterránea del nivel 6 y relave del pasivo ambientales de la Mina Paredones, determinan que sí existe contaminación en el río San Pablo.</p>	<p>VARIABLE INDEPENDIENTE</p>	<p>Muestreo tanto en tiempo de sequía como en lluvia de:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Muestra del agua del río San Pablo 500 m aguas arriba del efuente del drenaje de agua subterránea del nivel 6.</li> <li>• Muestra líquida del drenaje de agua subterránea a 500 m dentro de la galería del nivel 6 de la Mina Paredones por donde discurre este desecho.</li> <li>• Muestra del agua del río san Pablo frente al nivel 6.</li> <li>• Muestra líquida de la escorrentía del relave.</li> <li>• Muestra del agua del río San Pablo 500 m aguas abajo pasando el depósito de relave.</li> </ul>	<p>Es No Experimental, con diseño longitudinal porque recaban datos en diferentes puntos del tiempo (época de sequía y época de lluvia), para realizar inferencias acerca de la evolución, sus causas y sus efectos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Observaciones directas en terreno.</li> <li>• Toma de muestras y análisis geoquímico.</li> <li>• Recolección de datos, manuales, copias, planos de ubicación, localización de la zona, planos topográficos, carta geológica del yacimiento minero, planos de explotación.</li> </ul>	<p>Principios estadísticos de tendencia central y de variabilidad y estadísticas aplicadas.</p>
	<p>Medir las propiedades geoquímicas del drenaje de agua subterránea del nivel 6 y del relave del pasivo ambiental de la Mina Paredones, para determinar el nivel de contaminación en el río San Pablo.</p>		<p>Propiedades geoquímicas del drenaje de agua subterránea del nivel 6 de la Mina Paredones.</p>				
			<p>Propiedades geoquímicas del relave como pasivo ambiental de la Mina Paredones.</p>				
	<p>ESPECIFICOS:</p>		<p>VARIABLE DEPENDIENTE</p>				
	<p>Realizar un muestreo en:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Drenaje de agua subterránea del nivel 6, a 500m dentro de la galería del nivel 6.</li> <li>- Drenaje de la escorrentía del relave.</li> <li>- Aguas del río San Pablo 500 m aguas arriba, frente a la bocamina y a 500 m aguas abajo pasando depósito del relave.</li> </ul>		<p>Contaminación en el río San Pablo.</p>				
	<p>Analizar en Laboratorio las muestras del drenaje de agua subterránea del nivel 6, de la escorrentía del relave y del agua del río San Pablo, para determinar las propiedades geoquímicas.</p>						
	<p>Evaluar los resultados geoquímicos del drenaje de agua subterránea del nivel 6, de la escorrentía del relave y del agua del río San Pablo comparándolos con los Límites Máximos Permisibles y Estándares de Calidad Ambiental.</p>						
	<p>Evaluar si existe diferencia significativa entre la concentración de metales en tiempo de sequía y tiempo de lluvia.</p>						
	<p>Determinar si existe contaminación en el río San Pablo.</p>						

## ANEXO N° 10: LISTA DE PASIVOS AMBIENTALES MINEROS.



### Pasivos Ambientales Mineros

Fecha: 09/03/2015  
Pag.: 304 de 890

N°	Id	Pasivo Ambiental Minero	Tipo	Subtipo	Cuenca	Provincia	Distrito	Coordenadas		Zona	Datum	Código Derecho Minero	Nombre del Derecho Minero	Nombre del Titular del Derecho Minero	Nombre del Responsable del Pasivo	Estudios Ambientales
								Este	Norte							
CAJAMARCA																
2970	13036	PAREDONES	LABOR MINERA	BOCAMINA	JEQUETEPE QUE	SAN PABLO	SAN BERNARDINO	740,693	9,205,147	17	PSAD56	03002115X01 060002396	OCCIDENTAL 1 SAN BERNARDINO TRES	GAONA TAFUR, SEGUNDO LORENZO S.M.R.L. OCCIDENTAL 2 DE CAJAMARCA	No identificado	Ninguno
2971	13037	PAREDONES	LABOR MINERA	BOCAMINA	JEQUETEPE QUE	SAN PABLO	SAN BERNARDINO	740,910	9,204,880	17	PSAD56	010273204 03002115X01 060003195	LUMINOSA NUMERO 2A OCCIDENTAL 1 OCCIDENTAL CUATRO	S.M.R.L. INCOGNITA 2005 S.M.R.L. OCCIDENTAL 2 DE CAJAMARCA TERAN VIGO, HILDEBRANDO	No identificado	Ninguno
2972	13038	PAREDONES	LABOR MINERA	BOCAMINA	JEQUETEPE QUE	SAN PABLO	SAN BERNARDINO	740,588	9,204,909	17	PSAD56	010273204 03002115X01 060003195	LUMINOSA NUMERO 2A OCCIDENTAL 1 OCCIDENTAL CUATRO	S.M.R.L. INCOGNITA 2005 S.M.R.L. OCCIDENTAL 2 DE CAJAMARCA TERAN VIGO, HILDEBRANDO	No identificado	Ninguno
2973	13039	PAREDONES	RESIDUO MINERO	DESMONTE DE MINA	JEQUETEPE QUE	SAN PABLO	SAN BERNARDINO	740,910	9,204,880	17	PSAD56	010273204 03002115X01 060003195	LUMINOSA NUMERO 2A OCCIDENTAL 1 OCCIDENTAL CUATRO	S.M.R.L. INCOGNITA 2005 S.M.R.L. OCCIDENTAL 2 DE CAJAMARCA TERAN VIGO, HILDEBRANDO	No identificado	Ninguno
2974	13040	PAREDONES	RESIDUO MINERO	DESMONTE DE MINA	JEQUETEPE QUE	SAN PABLO	SAN BERNARDINO	742,062	9,204,832	17	PSAD56	010071206 010048207 03002267X01 010082604	CALIFORNIA 2006 A CALIFORNIA 2007 A OCCIDENTAL - 5 PRUDENCIA	EMERGING MARKETS MINING S.A.C. EXPLORACIONES MINERAS COCHORICO S.A. S.M.R.L. INCOGNITA 2005 S.M.R.L. OCCIDENTAL 5 DE CAJAMARCA	No identificado	Ninguno
2964	13030	PAREDONES	INFRAESTRUCTURA		JEQUETEPE QUE	SAN PABLO	SAN BERNARDINO	740,660	9,205,133	17	PSAD56	03002115X01 060002396	OCCIDENTAL 1 SAN BERNARDINO TRES	GAONA TAFUR, SEGUNDO LORENZO S.M.R.L. OCCIDENTAL 2 DE CAJAMARCA	No identificado	Ninguno
2965	13031	PAREDONES	RESIDUO MINERO	RELAVES	JEQUETEPE QUE	SAN PABLO	SAN BERNARDINO	740,567	9,205,045	17	PSAD56	03002115X01 060002396	OCCIDENTAL 1 SAN BERNARDINO TRES	GAONA TAFUR, SEGUNDO LORENZO S.M.R.L. OCCIDENTAL 2 DE CAJAMARCA	No identificado	Ninguno
2966	13032	PAREDONES	RESIDUO MINERO	RELAVES	JEQUETEPE QUE	SAN PABLO	SAN BERNARDINO	740,342	9,204,545	17	PSAD56	010273204 03002115X01 060003195	LUMINOSA NUMERO 2A OCCIDENTAL 1 OCCIDENTAL CUATRO	S.M.R.L. INCOGNITA 2005 S.M.R.L. OCCIDENTAL 2 DE CAJAMARCA TERAN VIGO, HILDEBRANDO	No identificado	Ninguno

## ANEXO N° 11: PANEL FOTOGRÁFICO.



Toma fotográfica N° 1: Nivel 6 de la Mina Paredones.



**Toma fotográfica N° 2:** Drenaje de agua subterránea dentro la galería del Nivel 6 de la Mina Paredones.



**Toma fotográfica N° 3:** Depósito de Relave de la Mina Paredones.



**Toma fotográfica N° 4: Río San Pablo frente a la Mina Paredones.**



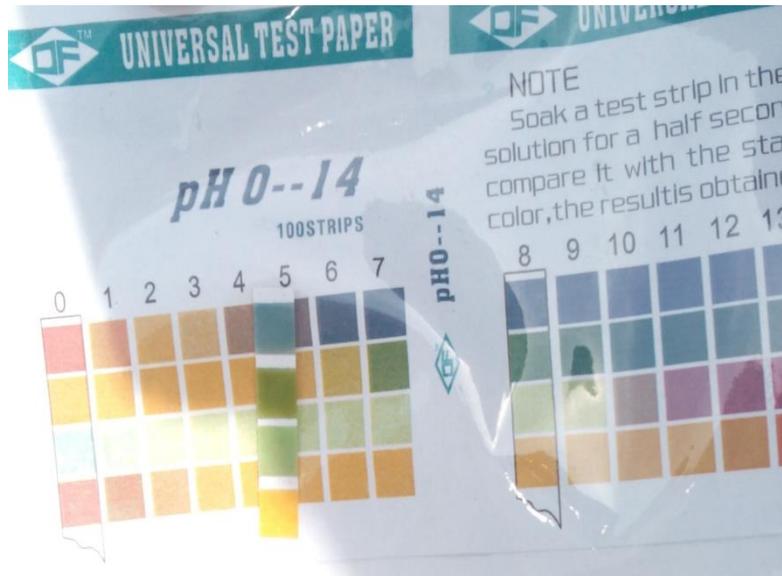
**Toma fotográfica N° 5: Recojo de muestra de agua subterránea en la galería Del nivel 6 de la Mina Paredones.**



**Toma fotográfica N° 6: Acondicionamiento de la muestra de agua.**



**Toma fotográfica N° 6: Medición de pH del agua con papel de tornasol.**



**Toma fotográfica N° 7: Resultados del pH con papel de tornasol.**



**Toma fotográfica N° 8: Río frente al depósito de relave.**



**Toma fotográfica N° 9: Recojo de muestra de agua del Río San Pablo en frasco esterilizado.**