

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN CONSERVACIÓN DE RECURSOS

FORESTALES



**“EFECTOS DEL CONTROL DE EROSIÓN EN LA RECUPERACIÓN
DE ECOSISTEMAS – ESTUDIO DE CASO LAGUNA CANRASH-,
PROVINCIA DE HUARI, ANCASH, PERU”**

Presentada por:

JOSÉ MARTÍN PORTOCARRERO GALLARDO

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAGISTER SCIENTIAE EN
CONSERVACIÓN DE RECURSOS FORESTALES**

Lima –Perú

2018

DEDICATORIA

A mis padres que con su ejemplo me guiaron durante mi vida.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres que con su ejemplo me guiaron durante mi vida.

Para mis amigos y compañeros de labores que me alentaron a culminar este trabajo.

A la Compañía Minera Antamina que me permitió utilizar la información para llevar a cabo el presente trabajo de tesis.

ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
II.	REVISION DE LITERATURA.....	4
2.1	CONCEPTOS.....	8
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	12
3.1	UBICACIÓN Y DESCRIPCION DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	12
3.2	EQUIPOS Y MATERIALES.....	14
3.3	MÉTODOS.....	14
3.3.1	INFORMACIÓN RECABADA PRE-CAMPO.....	14
3.4	COLECTA DE DATOS Y PERSONAL	31
3.5	ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA	32
3.6	PONDERACIÓN CUALITATIVA DE LOS TRATAMIENTOS BASADA EN SU CONVENIENCIA EN COSTOS, TIEMPOS Y PERSONAL REQUERIDO PARA INSTALACIÓN.....	32
IV.	RESULTADOS Y DISCUSION.....	35
4.1	RESULTADOS POR PARÁMETROS	35
4.1.1	TOTAL DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS (TSS).....	35
4.1.2	TOTAL DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS DE INGRESO.....	38
4.1.3	TOTAL DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS DE SALIDA.....	39
4.1.4	COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE TSS DE INGRESO Y TSS DE SALIDA.....	41
4.1.5	TOTAL DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS DE INGRESO POR AÑO.....	43
4.1.6	COMPARACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE DATOS DEL TSS DE INGRESO POR AÑO.....	44
4.1.7	TOTAL DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS DE SALIDA POR AÑO	46
4.1.8	TOTAL DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS DE INGRESO POR MESES	49
4.1.9	TOTAL DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS DE SALIDA POR MESES	50
4.2	POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH) DE INGRESO Y SALIDA MEDIDO EN CAMPO	52
4.2.1	RESULTADOS DE PH DE INGRESO	52
4.2.2	RESULTADOS DE PH DE SALIDA.....	54
4.2.3	COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE PH DE INGRESO VS. PH DE SALIDA	55
4.2.4	RESULTADOS DE PH DE INGRESO POR AÑO.....	58
4.2.5	RESULTADOS DE PH DE SALIDA POR AÑO	61
4.2.6	RESULTADOS DE PH DE INGRESO POR MESES	64

4.2.7	RESULTADOS DE PH DE SALIDA POR MESES	66
4.3	RESULTADOS DE TURBIDEZ DE INGRESO Y SALIDA	67
4.3.1	TURBIDEZ DE INGRESO –MEDICION EN CAMPO	67
4.3.2	TURBIDEZ DE SALIDA	69
4.3.3	COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE TURBIDEZ DE INGRESO Y TURBIDEZ DE SALIDA	70
4.3.4	TURBIDEZ DE INGRESO POR AÑO	72
4.3.5	TURBIDEZ DE INGRESO POR MES.....	77
4.3.6	TURBIDEZ DE SALIDA POR MES	79
4.3.7	PONDERACION CUALITATIVA DE TRATAMIENTOS- RESULTADOS.....	80
V.	CONCLUSIONES.....	83
VI.	RECOMENDACIONES	84
VII.	BIBLIOGRAFIA.....	86
VIII.	ANEXOS.....	90

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Resumen de los valores máximo, mínimo y promedio por año.	35
Cuadro 2: Resumen de distribución de datos del total de sólidos suspendidos de ingreso.....	38
Cuadro 3: Resumen de distribución de datos del total de sólidos suspendidos de salida	40
Cuadro 4: Análisis comparativo de TSS de ingreso y TSS de salida totales.....	41
Cuadro 5: Análisis comparativo de TSS de ingreso por año	43
Cuadro 6: Análisis del histograma del TSS de ingreso por año	45
Cuadro 7: Análisis comparativo de TSS de salida por año	46
Cuadro 8: Análisis del histograma del TSS de salida por año.....	48
Cuadro 9: Estadísticos descriptivos para el TSS suspendidos de ingreso por mes	49
Cuadro 10: Estadísticos descriptivos para el TSS suspendidos de salida por mes.....	51
Cuadro 11: Resumen de valores máximos, mínimos y promedio para pH.	52
Cuadro 12: Distribución de datos de pH de ingreso por intervalos de clase	53
Cuadro 13: Distribución de datos de pH de salida por intervalos de clase	54
Cuadro 14: Valores estadísticos obtenidos para pH de ingreso y salida	56
Cuadro 15: Comparación de la distribución de datos de pH de ingreso y salida	57
Cuadro 16: Análisis comparativo del pH de ingreso por año.....	58
Cuadro 17: Comparación de distribución de datos de pH de ingreso por año	60
Cuadro 18: Análisis comparativo del pH de salida por año	61
Cuadro 19 : Análisis del histograma del pH de salida por años	63
Cuadro 20: Estadísticos descriptivos para el pH de ingreso por meses	65
Cuadro 21: Estadísticos descriptivos para el pH de salida por meses	66
Cuadro 22: Intervalos de clase y distribución de datos de Turbidez de Ingreso	68
Cuadro 23: Intervalos de clase y distribución de datos de Turbidez de Salida	69
Cuadro 24: Valores estadísticos obtenidos para turbidez de ingreso y salida.....	70
Cuadro 25: Distribución de datos de Turbidez de Ingreso y Salida	71
Cuadro 26: Análisis comparativo de turbidez de ingreso por año.....	72

Cuadro 27: Análisis del histograma de turbidez de ingreso por años	73
Cuadro 28: Análisis comparativo de turbid la por año	75
Cuadro 29: Análisis del histograma de turbidez de salida por año	76
Cuadro 30: Estadísticos descriptivos para turbidez de ingreso por meses	78
Cuadro 31: Estadísticos descriptivos para Turbidez de Salida por meses.....	79
Cuadro 32: Ponderación cualitativa de las actividades de control de erosión para la laguna Canrash.....	81

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación de la zona de estudio y estaciones de monitoreo	13
Figura 2: Talud y laguna Canrash km 94, año 1999.....	15
Figura 3: Talud y laguna Canrash km 94, año 2001.....	15
Figura 4: Vista panorámica de la laguna Canrash 2007	16
Figura 5: Deslizamiento sobre canal km 94 Canrash año 2001(talud de relleno).....	17
Figura 6 : Deslizamiento de rocas sobre canal Canrash (talud de corte).....	17
Figura 7 : Reparación de cuneta en el km 94 del sector Canrash (año 2002)	18
Figura 8 : Canal km 94 del sector Canrash año 2001 (talud de corte)	18
Figura 9 : Caja de captación de agua. Sector Canrash	19
Figura 10 : Preparación de talud de relleno en Canrash	19
Figura 11 : Preparación de talud de relleno para colocación de mantas de enkamat.	20
Figura 12 : Prendimiento de vegetación. Sector Canrash km 94.....	21
Figura 13 : Prendimiento de <i>Lupinus sp.</i> Sector Canrash km 94	21
Figura 14: Sistema de sedimentación en la laguna de Canrash (km 94).....	22
Figura 15 : Vertedero de entrada en el km 94 del sector Canrash (año 2001)	23
Figura 16 : Limpieza de pozas de sedimentación km 97 Canrash	23
Figura 17: Zanja de lagrimeo (Weeb berm). Sector Canrash.....	24
Figura 18 : Anclaje de enkamat al pie de talud de relleno. Sector Canrash km 94.....	24
Figura 19 : Colocación de enkamat en talud de relleno. Sector Canrash km 94.....	25
Figura 20 : Colocación de mantas de enkamat km 94. Sector Canrash (año 2001)	25
Figura 21 : Colocación de top soil sobre enkamat. Sector Canrash km 94 (año 2001).....	26
Figura 22 : Desarrollo de grass en la laguna de Canrash (año 2002)	26
Figura 23 : Sistema de muros de roca en talud de relleno Canrash para restaurar áreas con cárcavas (año 2003)	27
Figura 24: Construcción de las casetas para floculantes km 94.	28
Figura 25: Almacén para tanques de floculantes y coagulantes km 97.....	28
Figura 26: Esquema de ubicación de los drenes horizontales	30
Figura 27: Datos de precipitación pluvial correspondiente al sector Laguna Canrash (km 94 y 97) año 2005.....	36

Figura 28: Datos de precipitación pluvial correspondiente al sector Laguna Canrash (km 94 y 97) año 2006.....	37
Figura 29: Datos de precipitación pluvial correspondiente al sector Laguna Canrash (km 94 y 97) año 2007.....	37
Figura 30: Histograma total de sólidos suspendidos de Ingreso	39
Figura 31: Histograma del total de solidos suspendidos de salida (mg/l).	40
Figura 32: Histograma de total de sólidos suspendidos de ingreso vs total de sólidos suspendidos de salida TSS (mg/l).....	42
Figura 33: Histograma de total de sólidos suspendidos de ingreso vs. Total de sólidos suspendidos de salida TSS (mg/l).....	43
Figura 34 : Histograma de TSS (mg/l) de ingreso por año.....	46
Figura 35 : Histograma de TSS (mg/l) de salida por año	49
Figura 36 : Histograma de TSS de ingreso (mg/l) por mes	50
Figura 37 : Histograma de TSS de salida (mg/l) por mes.	51
Figura 38 : Histograma de pH de ingreso sector Canrash	53
Figura 39 : Histograma de pH salida.	55
Figura 40 : Histograma de pH ingreso, pH salida.	56
Figura 41 : Histograma de pH ingreso por año.	58
Figura 42: Histograma de pH salida por año	64
Figura 43 : Histograma de pH salida por mes	66
Figura 44 : Histograma de turbidez de ingreso.....	68
Figura 45 : Histograma de turbidez de salida.....	70
Figura 46 : Histograma de turbidez ingreso, turbidez salida.....	71
Figura 47 : Histograma de turbidez de ingreso por año	74
Figura 48: Histograma de turbidez de salida por año.....	77
Figura 49 : Histograma de turbidez de ingreso por mes.....	79

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1 : OTROS ASPECTOS IMPORTANTES	90
ANEXO 2 : ESQUEMA DE UN WEEP BERM (BERMA LLORONA)	92

RESUMEN

El presente trabajo muestra las actividades que implemento la Compañía Minera Antamina en los taludes de corte y relleno de la carretera Conocoha-Antamina, en el sector correspondiente a la laguna Canrash, comprendido entre los kilómetros 94 + 00 y 97 + 300 para evitar la erosión de suelos y contaminación por sedimentos de la laguna. Se implementaron controles físicos, como es el caso de la revegetación de los taludes mediante métodos manuales y mecánicos, muros de roca para estabilizar los taludes y conducción de aguas mediante canales de derivación y pozas de sedimentación. Asimismo, se usaron floculantes para captar las partículas menores a 10 micras y permitir su decantación en las pozas. Se realizaron mediciones de precipitación pluvial, pH, y total de sólidos suspendidos (TSS) a la salida del sistema de tratamientos para controlar la efectividad de estos con relación a los Límites Máximos Permisibles (LMPs) de la normativa peruana, durante los años 2005 al 2007. La eficacia de los tratamientos permitió que los valores se mantengan bajo los LMPs y permitan la recuperación de la laguna.

Palabras clave: Erosión, floculantes hidrosiembra, berma de asentamiento, mallas geosintéticas, revegetación.

ABSTRACT

This is a case study about erosion control and soil surface stability works carried out as part of the operational activities at Conococha Antamina highway, specifically in the area between km 92 and 97, where the Canrash lagoon is located. For this study, data from 2005 to 2007 was used. Antamina Mining Company implemented the different physical controls such as the revegetation of slopes by manual and mechanical methods, use of rock walls, synthetic geo meshes, water diversion channels, weep berm and sediment ponds. Chemical products were also used, including flocculants to collect particles smaller than 10 microns to be decanted in the ponds. Measurements of rainfall, pH, and total suspended solids (TSS) were made at the exit of the treatment system to control the effectiveness in relation to the Maximum Permissible Limits (MPLs) according to Peruvian regulations, during the years 2005 to 2007. The efficacy of the treatments allowed the values to remain below the MPLs and allow the lagoon to recover.

Key Words: Erosion, flocculants, revegetation, synthetic geo meshes, weep berm

I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, a nivel nacional, las redes de carreteras han crecido rápidamente produciendo impactos sobre los ecosistemas naturales, tales como: la fragmentación de hábitats, alteración de la estructura de los ecosistemas, elevadas tasas de erosión y transporte de sedimentos o compactación del suelo. En zonas degradadas por construcción de carreteras, las pérdidas por erosión son mayores que en las zonas agrícolas y con cobertura arbórea o arbustiva. Además, la instalación de infraestructura suele producir un impacto paisajístico y una pérdida de funciones del ecosistema anterior a la perturbación, consecuencias propias de los procesos de colmatación de cauces, canales o embalses y la pérdida de calidad de las aguas debido a los materiales erosionados. Toda esta serie de impactos ambientales que se producen como consecuencia de la instalación de obras de infraestructura lineal, hacen necesaria la restauración del ecosistema.

“Para llevar a cabo una restauración correcta es necesario tener un conocimiento previo de la ecología de los ecosistemas a restaurar” (Prach 2003; Choi et al. 2004)

La construcción de vías y carreteras, generan a lo largo de ellas superficies expuestas de materiales del suelo y subsuelo con altas pendientes desprovistas de cualquier tipo de vegetación; así, los taludes son áreas altamente vulnerables a la erosión hídrica y sobre todo a súbitos movimientos en masa. Para su control, Compañía Minera Antamina ha implementado en los taludes protección mediante estructuras civiles y tratamientos con vegetación, siendo los primeros costosos, de tal manera que superan el costo unitario promedio por kilómetro de construcción de la misma.

Las obras de estabilización de taludes recogen en la medida de lo posible lo observable en la naturaleza. Sin embargo, dichas obras son costosas, tienen una vida útil relativamente corta y resultan poco estéticas desde el punto de vista paisajístico.

Ante tales consideraciones, la implementación de medidas de estabilización de taludes y el desarrollo de diferentes técnicas de repoblamiento vegetal, como por ejemplo la utilización de fibras naturales y especies adaptables al entorno, juegan un rol importante para la restauración definitiva de taludes, siempre y cuando las acciones se orienten sobre la base del conocimiento de las aptitudes y limitaciones de las especies que vayan a ser incluidas en los trabajos en mención.

En las obras de construcción lineal (carreteras, autopistas, ferrocarriles, entre otros) se altera constantemente la superficie natural de los terrenos, siendo actividades de obra muy comunes la excavación de desmontes, la construcción de terraplenes y movimientos de material de corte y relleno, dando lugar a superficies creadas de forma artificial.

En el diseño de taludes la mayoría de los esfuerzos deberían estar centrados en el análisis de su estabilidad, tanto a corto como a largo plazo. Dicha estabilidad ha de contemplarse desde varios puntos de vista como son: posibles roturas globales en las que se vea involucrado todo el talud, posibles roturas profundas a través del talud, posibles deslizamientos superficiales, entre otros.

La importancia del presente estudio radica en prevenir los riesgos para el ambiente, salud, seguridad y comunidades que abarcan el Proyecto Minero Antamina en lo que respecta a las actividades de mitigación de la erosión, asegurando el cumplimiento de las normas y estándares gubernamentales e internacionales, los compromisos asumidos en el Estudio de Impacto Ambiental y lo establecido en la Política de Salud, Seguridad, Medio Ambiente y Relaciones Comunitarias de la Compañía Minera Antamina S.A. Por consiguiente, incluye procedimientos de monitoreo que exceden los requerimientos formales de la legislación minero-ambiental, los cuales tienen su propia metodología de reporte (Plan de Monitoreo Ambiental Antamina 2006).

Se puede afirmar que las labores de conservación de suelos y actividades de reforestación y revegetación aplicadas por la Compañía Minera Antamina en la zona de estudio, están dirigidas a reducir la erosión de suelos contribuyendo a su estabilidad, a una mejora en su fertilidad y disponibilidad de agua en períodos secos, mejorando las condiciones necesarias para la instalación de vegetación. Sea por causas naturales o por la intervención humana".

Los objetivos de la investigación son:

OBJETIVO GENERAL

- Contribuir al conocimiento de las técnicas físicas, químicas, y biológicas de control de erosión para proyectos mineros que requieran movimiento de tierras.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar el impacto de las medidas de control de erosión física, química y biológica aplicada en el caso de estudio, y su influencia en la mejora de la fertilidad de suelos y calidad de agua en el ámbito que se documenta.
- Sistematizar, analizar e interpretar la información obtenida, con el fin de validar la eficiencia del paquete de técnicas utilizadas, de manera que puedan ser replicadas en condiciones en las que el control de erosión sea un factor crítico en la construcción de vías sobre taludes.

II. REVISION DE LITERATURA

El Perú en los últimos 14 años ha incrementado las actividades de exploración y explotación minera, tanto en pequeña, mediana y gran minería. De acuerdo con información del Ministerio de Energía y Minas, en el año 2016 se han registrado 217 proyectos tanto de explotación, exploración y ampliación.

Ante el incremento de esta actividad, se promulgó en el año 1993 el D.S. N° 016-93-EM de fecha 28-ABR-93, el mismo que dio origen a otras normas nacionales regulando la actividad minera para encauzarla dentro de un marco ambiental adecuado. De acuerdo con ésta normativa, antes de iniciar un proyecto de exploración o explotación minera se debe de contar con instrumentos de gestión adecuados, fijándose como condición necesaria la presentación de un estudio de impacto ambiental (EIA, para operaciones nuevas, y los Planes de Adecuación Ambiental (PAMA) para operaciones que ya se encuentran en operación, D.S N° 020-2008-EM.- Aprueban Reglamento Ambiental para las actividades de exploración minera. Asimismo, mediante el DS 010-2010-MINAM, se aprobaron los límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero – metalúrgicas, derogando en parte la Resolución Ministerial 011-96-EM/VMM.

De acuerdo con los Art. 7.2 inciso a) y 26° del D.S. N° 167-2008-MEM/DM, se debe de controlar la erosión en las actividades minero-metalúrgicas. Asimismo, la supervisión para el cumplimiento de la normatividad de parte del Estado está a cargo de la OEFA. Los trabajos de control de erosión se realizan básicamente para evitar la pérdida de suelos y el ingreso de sedimentos a cuerpos de agua. Dentro de las técnicas utilizadas para controlar la erosión se consideran las mejores prácticas (BMPs por sus siglas en inglés) entre los que se encuentran: Construcción de pozas de sedimentación, diques, revegetación, uso de agrotexiles, canales de derivación de aguas entre otros. En cuanto al control químico se tiene el uso de floculantes y coagulantes. Éste trabajo, al ser uno de los primeros en su género, no sólo por las técnicas y tecnologías empleadas, sino al haber sido realizado a más de 4000 metros sobre el nivel del mar, puede ser de utilidad no sólo en las operaciones mineras, sino también en obras que requieran la construcción de carreteras en las zonas alto andinas.

Los Estudios de caso se enfocan en documentar determinadas realidades o procesos tal como se han dado en una localización o circunstancia dada, el objetivo de ellos es revelar la idoneidad de establecimientos, procedimientos, flujos de decisiones etc., en casos reales. Los estudios de caso permiten aquilatar las bondades existentes en un ejercicio profesional real y recomendar como apropiado o no¹.

“El estudio de casos es un método de investigación cualitativa que se ha utilizado ampliamente para comprender en profundidad la realidad social y educativa” (Barrio del Castillo et al. s. f.). Asimismo, indica que las características de un estudio de caso son; particularista, descriptivo, heurístico (descubre nuevos significados y sirve para tomar decisiones), inductivo.

La construcción de carreteras y otras obras públicas produce impactos ambientales severos que afectan a los ecosistemas. Los taludes generados en estas obras presentan escasa cobertura vegetal y desarrollo de la vegetación que tanto de forma natural como a través de restauraciones, es muy lento. El estudio de los factores que limitan la colonización vegetal en estas áreas degradadas permite mejorar las técnicas de revegetación. Al igual que en otros ambientes, en los taludes de carreteras la colonización se ve limitada por la restringida capacidad de dispersión de algunas semillas, por lo que estas laderas son colonizadas principalmente por especies provenientes de áreas cercanas y/o por especies capaces de dispersarse a larga distancia. Existe una serie de limitaciones edáficas tales como contenido de materia orgánica, disponibilidad de micro y macro elementos, que hacen que aunque muchas semillas sean capaces de llegar a los taludes y la colonización no se produzca. (Tormo J, Bochet E, García P 2009).

En el planeamiento de medidas efectivas de estabilización de taludes es importante entender las causas de la inestabilidad.

Las causas más comunes son: Talud muy empinado por corte o relleno, exceso de presión de poros causado por niveles freáticos altos o interrupción de la trayectoria de drenaje, socavación debido a la erosión de agua superficial y pérdida de resistencia con el tiempo debido a procesos de reptación e intemperismo (Alva 1994)

¹ Reyne Rodríguez, C. 15 oct. 2015. Estudios de caso (entrevista). La Molina, Perú, UNALM.

Son muchas las prácticas para mitigar los efectos erosivos, como las siembras en curvas de nivel, terrazas individuales, residuos y vegetación de cobertura, barreras muertas y barreras vivas. Todas ellas, conducen a contrarrestar la escorrentía del agua en los terrenos desnudos, promover la infiltración de la misma, almacenarla y permitir que los excesos recarguen los acuíferos del suelo (Gomis 1996).

De acuerdo con Tormo J, Bochet E, García P (2009), el factor que más limita y modula la colonización vegetal en taludes de carreteras en ambientes semiáridos es el estrés hídrico. Por otro lado, mencionan que los taludes de carretera con pendientes elevadas y escasa cobertura vegetal, sufren a menudo graves problemas de erosión, siguiendo los valores de erosión una relación inversa a la de los valores de cobertura vegetal. Esto haría pensar que la erosión estaría impidiendo la colonización al arrastrar las semillas. No obstante, aunque la erosión tenga una influencia en la pérdida de semillas por arrastre, la ausencia de diferencia en la densidad del banco de semillas del suelo entre desmontes y terraplenes indica que la erosión limita la colonización de los taludes sobre todo por el deterioro que produce en las propiedades edáficas relevantes para la germinación y establecimiento de las plantas (p. ej. disminuyendo la fertilidad o incrementando el déficit hídrico).

Tratamientos como el uso de tierra vegetal o la aplicación de “*mulching*” pueden atenuar las condiciones limitantes y aceleran la colonización vegetal. Además, en desmontes, se han obtenido resultados prometedores utilizando tratamientos que disminuyen la compactación, mejoran las condiciones del suelo localmente y permiten la penetración de las raíces. El conocimiento de las limitaciones a la colonización vegetal en los distintos tipos de taludes de carreteras y del beneficio de determinados tratamientos para el establecimiento de las plantas ha de permitir optimizar el uso de los recursos según las necesidades de cada zona a restaurar y elaborar consecuentemente planes de revegetación con garantías de éxito. (Tormo J, Bochet E, García P. 2009).

Durán V.H; Martínez; Aguilar J. (2002), en su estudio denominado “Control de la erosión en los taludes de bancales, en terrenos con fuertes pendientes”, registraron datos acerca de la producción de sedimentos y escorrentía durante dos años naturales de enero de 1999 a diciembre de 2000, alcanzando un total de 36 eventos erosivos. Se puso de manifiesto que las cubiertas vegetales, actúan como agentes amortiguadores del impacto mecánico que producen las gotas de lluvia sobre la superficie del suelo, facilitando así la infiltración del agua hacia su interior, de tal forma que se modifica el balance hídrico del suelo.

Se puede apreciar de los resultados obtenidos, el efecto favorable producido en la conservación del suelo y disminución de la escorrentía superficial, con la ventaja de que en el caso del primero aumentó con el transcurso del tiempo debido al desarrollo de la cubierta vegetal, influyendo de una manera notable. Sin embargo, factores como la intensidad y cantidad de la lluvia, y la pendiente entre otros, pueden afectar notablemente la infiltración (Thornes y Yair, citados por Durán et al. 2002).

Minera Yanacocha (2005), indica que la cobertura vegetal es una forma importante de control de erosión posible, pues evita o reduce la erosión en vez de intentar atrapar el sedimento luego de que el suelo ya se ha erosionado. Además, contribuye al valor estético y funcional de un proyecto de desarrollo. La erosión laminar, causada por el impacto de la lluvia sobre el suelo desnudo, es fuente de la mayoría de partículas finas en el sedimento. Para reducir esta carga de sedimento en la escorrentía, debe protegerse la superficie misma del suelo. El medio más eficiente y económico de controlar la erosión laminar y de surco, es establecer una cobertura vegetal. El sembrío temporal con especies de rápido crecimiento, puede evitar las operaciones de mantenimiento costoso en otros sistemas de control de erosión.

Las medidas permanentes se ejecutan tanto durante las actividades de construcción como a la culminación de las mismas. Dichas medidas incluyen las siguientes:

- a. Conservación de la vegetación natural
- b. Establecimiento de zonas de amortiguación;
- c. Sembrío y plantación permanentes. (Minera Yanacocha 2005)

Con relación a los sólidos suspendidos estos pueden encontrarse en las aguas en tres estados de suspensión en función del diámetro. Éstos son:

- a. Suspensiones desde diámetros de 10^{-4} cm. A más
- b. Coloides entre 10^{-4} y 10^{-6} cm.
- c. Soluciones para diámetros aún menores de 10^{-6} cm.

Estos tres estados de suspensión dan lugar a tres procedimientos distintos para eliminar las impurezas.

El primero destinado a eliminar las de diámetros mayores de 10^{-4} cm. Constituye la "sedimentación simple".

El segundo implica la aglutinación de los coloides para su remoción a fin de formar un "flóculo" que pueda sedimentar.

Finalmente, el tercer proceso, que esencialmente consiste en transformar en insolubles los compuestos solubles, aglutinarlos para formar el "flóculo" y permitir así la sedimentación (Pérez 2005).

2.1 CONCEPTOS

Erosión: la definición básica de la palabra "erosión" es desgaste (Foth 1985), y modelación de la corteza terrestre causada por la acción del viento, la lluvia, los procesos fluviales, marítimos y glaciales, y por la acción de los seres vivos.

Control de la erosión: Es la aplicación de tecnologías para evitar la erosión de suelos.

Floculante: Los floculantes son polímeros o polielectrolitos con pesos moleculares muy elevados moléculas orgánicas solubles en agua formadas por bloques denominados monómeros, repetidos en cadenas larga. Estos floculantes pueden ser de naturaleza: mineral, orgánico natural y orgánico de síntesis. (Andía 2000)

Floculación: La floculación es el proceso que sigue a la coagulación, que consiste en la agitación de la masa coagulada que sirve para permitir el crecimiento y aglomeración de los flóculos recién formados con la finalidad de aumentar el tamaño y peso necesarios para sedimentar con facilidad (Andía 2000)

Coloide liofobo: Coloide con fuerte afinidad por el líquido en el que se dispersa. Por ejemplo, la arcilla es un coloide liófilo en agua. (Schlumberger 2017)

Coagulante: Son productos químicos que al adicionar al agua son capaces de producir una reacción química con los componentes químicos del agua, especialmente con la alcalinidad del agua para formar un precipitado voluminoso, muy absorbente. Siendo los más utilizados las sales de Aluminio y de Hierro; cuando se adiciona estas sales al agua se producen una serie de reacciones muy complejas donde los productos de hidrólisis son más eficaces que los iones mismos (Andía 2000)

Coagulación: Es el fenómeno de desestabilización de las partículas coloidales, que puede conseguirse especialmente por medio de la neutralización de sus cargas eléctricas (Stumm y Morgan, citado por Sánchez 2007). El objetivo de la coagulación como proceso previo a la decantación es cambiar las propiedades de los insolubles, de modo que sean más fácilmente separables. Como es mucho más sencillo separar partículas grandes y pesadas que partículas ligeras y de poca superficie específica, el proceso de coagulación tenderá a agrupar partículas pequeñas en otras mayores, y por tanto más sólidas, que denominaremos flóculos (Sánchez 2007)

Desquinche: Acción de eliminar toda piedra, roca o material ubicado en el talud que presente signos de inestabilidad, evitando la caída de dichos elementos hacia las cunetas o superficie de rodadura.

Hidrosiembra: La hidrosiembra es una técnica de revegetación que consiste en aplicar sobre el terreno, mediante una manguera a presión, unas mezclas de semillas, nutrientes químicas y orgánicas, microorganismos del suelo y sustancias aglutinadoras, suspendida en un medio acuoso. (Martínez & Fernández, citado por Barrera et. al. 2010)

Mulching: Es el proceso de cubrir la capa arable o el suelo con materiales secos como hojas, hierba, pequeñas ramas, residuos del cultivo, paja etc. Con el fin de proteger las semillas del impacto de la lluvia, del frío excesivo, de los animales que se alimentan de las semillas. También es un componente importante para la generación de suelo a mediano y largo plazo

Sólidos en agua: Se denomina así a los residuos que se obtienen como materia remanente luego de evaporar y secar una muestra de agua a una temperatura dada.

Según el tipo de asociación con el agua, los sólidos pueden encontrarse suspendidos o disueltos.

Disueltas (hasta un milimicrómetro), en cuyo caso físicamente no influirán en la turbiedad, pero sí podrían definir su color u olor.

— Formando sistemas coloidales (1 a 1.000 milimicrómetros), que son las causantes de la turbiedad neta del agua.

— En forma de partículas suspendidas (por encima de 1.000 milimicrómetros), las cuales caen rápidamente cuando el agua se somete a reposo. (CEPIS & OPS 2004)

Sólidos suspendidos: Es el material suficientemente liviano para ser transportado en los flujos de aguas en suspensión. Los sedimentos suspendidos son reportados en partes por millón (ppm) o miligramos por litro (mg/l) intercambiables para expresar la concentración instantánea en un determinado punto. (Brown 1983)

Potencial de Hidrógeno (pH):

Es un parámetro básico que indica el grado de acidez o basicidad del agua.

Este parámetro tiene mucha influencia en una serie de reacciones que ocurren en el agua.

Un pH ácido en el agua no necesariamente indica la presencia de ácidos, pues algunas sales como las de aluminio pueden generar pH 4 por hidrólisis.

El pH tiene gran importancia en el tratamiento del agua, especialmente en la coagulación, desinfección y estabilización.

Durante la coagulación, la remoción de la turbiedad es eficiente por lo general en un rango de pH de 6,0 a 7,8, mientras que la remoción del color se consigue con un pH de entre 4 y 6. Sin embargo, es necesario puntualizar que el pH óptimo para ambos casos debe determinarse por medio de la prueba de jarras. (CEPIS& OPS 2004)

Turbidez: En el agua es el grado en que la penetración de la luz es impedida por el material suspendido. A mayor cantidad de material turbio en el agua, menor será la penetración de luz a través de esta. La turbidez es expresada en Unidades de Turbidez Nefolométrica (NTU), un NTU representa la cantidad de luz interceptada por un mg/l de una arena estándar. (Brown 1983)

Límite permisible: El Límite Máximo Permisible (LMP) es la medida de la concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su determinación corresponde al Ministerio del Ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por el Ministerio del Ambiente y los organismos que conforman el Sistema Nacional de Gestión Ambiental. Los criterios para la determinación de la supervisión y sanción son establecidos por dicho Ministerio. (MINAM 2010).

Estándares de calidad ambiental :Se define al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) como la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente. (MINAM 2010)

Zanja de lagrimeo/ sedimentos (Weep Berm): Una zanja de lagrimeo/sedimentos es una zanja con berma de tierra compacta, que se localiza gradiente abajo de las áreas alteradas y otros métodos de control de sedimentos. Esencialmente se pretende que las aguas con poca carga de sedimentos o aquellas que ya han pasado por algún tratamiento de control, sean derivadas a esta estructura para que luego de un tiempo de reposo adicional, el agua sea vertida indirectamente a los cuerpos de agua que se requiere proteger por medio de tuberías distribuidas a lo largo de la zanja. De tal forma que el agua finalmente sale hacia el cauce o cuerpo de agua a través de estas tuberías que distribuyen el agua sobre la pastura. Esta funciona como captadora de sedimentos y metales asociados en poca cantidad antes de llegar al cuerpo de agua. La función de la vegetación es llevar a cabo la filtración gradual de agua. Permitiendo así que esté más tiempo disponible para pasar por procesos de evapotranspiración Así, el ciclo hidrológico natural, que existía antes de las obras de construcción se vuelve a generar luego de la recuperación del área. El término "lagrimeo" describe el aspecto del agua, ya que se filtra lentamente a través de las tuberías (Thompson et.al. 2016.).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio está ubicada en el distrito de San Marcos, en la provincia de Huari, Áncash. En el tramo 3 de la carretera de acceso entre los kilómetros 94 y 97 de la carretera Conococha - Antamina. La topografía corresponde a un área de montañas con pendientes mayores a 45 grados. El área se encuentra litológicamente definida por crestas y flancos escarpados de calizas masivas. Los valles se han formado por erosión y son susceptibles a la intemperización. Las cimas de las montañas son angulosas y escarpadas. Se han formado lagos pequeños en círculos glaciares o de nivación. Los valles tienen forma de “U” y se caracterizan por sus flancos escarpados y fondos planos, como en el caso de los valles Tucush y Huincush, que tienen morrenas laterales a lo largo de sus contrafuertes y depósitos glaciares y fluviales a lo largo de las partes bajas. La parte correspondiente al talud de corte de éste tramo involucra un humedal, una zona rocosa, y capas expuestas e intercaladas de lutitas y areniscas. Mientras que la parte del talud de relleno es un área con el suelo expuesto producto de la práctica de corte y relleno llevada a cabo durante la apertura inicial de la vía, el tramo entre el kilómetro 93 +500 y el 94+000 es un área con presencia de cantos rodados. En la Figura 1 se muestra la ubicación del área de estudio (Antamina, 1998)

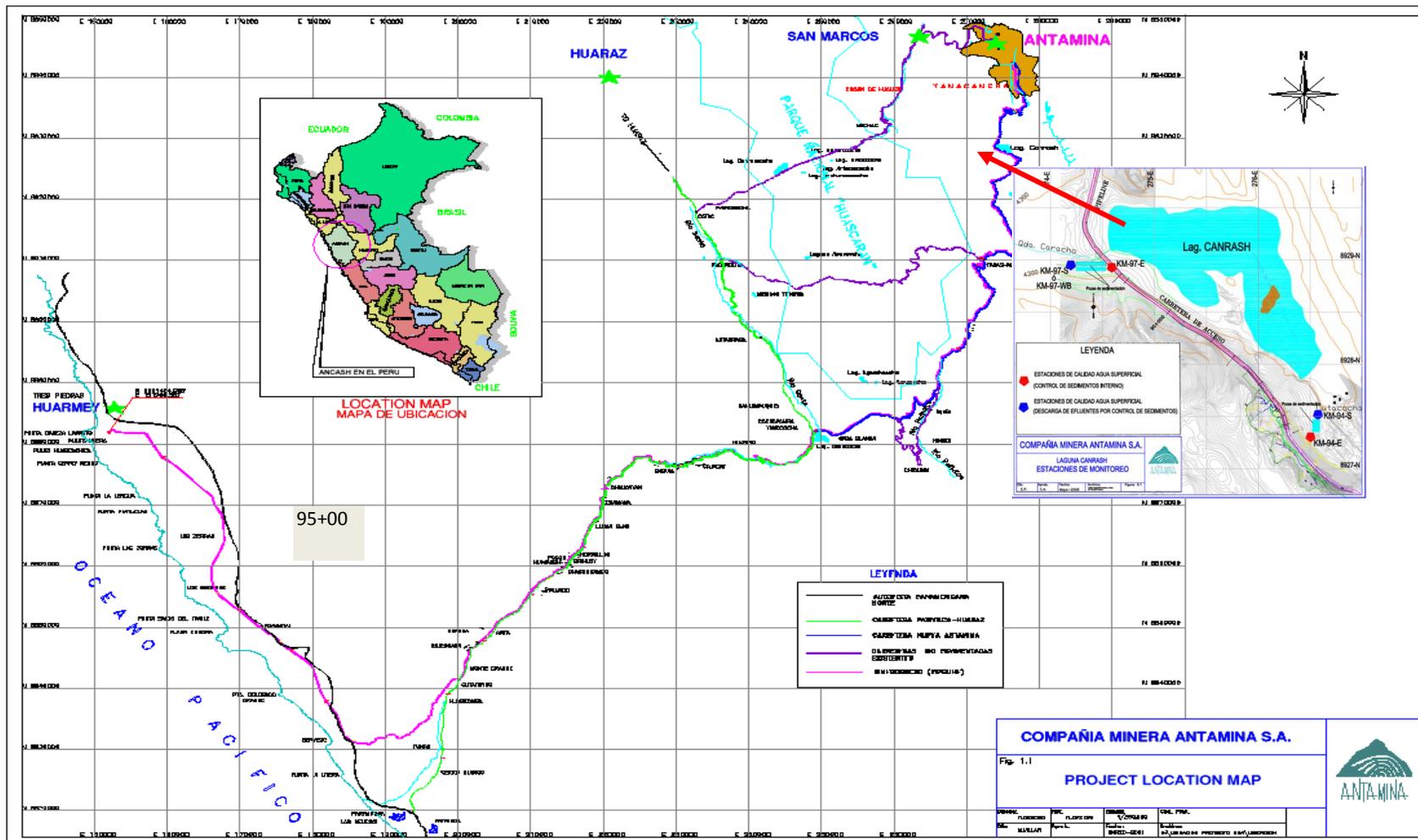


Figura 1: Ubicación de la zona de estudio y estaciones de monitoreo

FUENTE: Antamina 2006

3.2 EQUIPOS Y MATERIALES

La Compañía Minera Antamina proporciono los equipos, y materiales como:

- Maquinaria pesada.
- Instalaciones para almacenamiento y preparación de floculantes y coagulantes
- Pluviómetros para determinar la precipitación pluvial
- Hidrosembradora e insumos para hidrosiembra
- Compra de semillas, de pastos y plantones forestales.
- Fertilizante

Asimismo, proporcionó el personal de trabajo incluyendo a supervisores, técnicos y ayudantes generales.

Con relación a la toma de muestras para verificar la efectividad del sistema en los puntos de monitoreo se utilizaron los siguientes equipos y materiales:

- Botellas selladas de plástico de 1lt.
- Turbidímetro.
- Guantes quirúrgicos

3.3 MÉTODOS

Cabe destacar que toda la información de los monitoreos de campo fue proporcionada por el departamento de Medio Ambiente de la Compañía Minera Antamina.

3.3.1 INFORMACIÓN RECABADA PRE-CAMPO.

Selección de los tramos de la carretera de acceso Conococha - Antamina que se han visto afectadas por los deslizamientos y sedimentaciones de la laguna Canrash. El tramo escogido ha sido el comprendido entre el kilómetro 94 y el kilómetro 97 de la carretera de acceso Conococha –Antamina.



Figura 2: Talud y laguna Canrash km 94, año 1999



Figura 3: Talud y laguna Canrash km 94, año 2001



Figura 4: Vista panorámica de la laguna Canrash 2007

Este estudio se llevó a cabo en una situación concreta que necesitaba soluciones. Dado el exceso de sedimentos presentes en el agua que desembocaba en la laguna, se decidió efectuar el control de éstos mediante tres medidas integradas, que fueron establecidas y evaluadas como un todo. El efecto conjunto de ellas es lo que se documenta en el presente estudio. Las medidas fueron:

- a. Estabilización de taludes de corte y relleno:** Se efectuó el desquinche de rocas del talud de corte comprendido entre los kilómetros 94+00 y 95+700. Asimismo, en los taludes de relleno se construyeron muros de roca a manera de andenería, siguiendo las curvas de nivel del terreno para controlar y evitar las cárcavas. En las figuras 5, 6, 7 8 y 9 se muestran algunos deslizamientos en los taludes de corte y relleno; Asimismo, en las figuras 10 y 11 se muestran los trabajos de desquinche y perfilado del talud de relleno para instalación de la geomalla (Enkamat).



Figura 5: Deslizamiento sobre canal km 94 Canrash año 2001(talud de relleno)



Figura 6 : Deslizamiento de rocas sobre canal Canrash (talud de corte)



Figura 7 : Reparación de cuneta en el km 94 del sector Canrash (año 2002)



Figura 8 : Canal km 94 del sector Canrash año 2001 (talud de corte)



Figura 9 : Caja de captación de agua. Sector Canrash



Figura 10 : Preparación de talud de relleno en Canrash



Figura 11 : Preparación de talud de relleno para colocación de mantas de enkatamat.

Nótese el enrocado a manera de gavión en la base del talud a cubrir con mantas.

- b. Revegetación del Talud**, efectuando una preparación de la superficie de éste por medio de añadido de Top Soil, procediendo luego a hidrosiembra de pastos nativos como *Calamagrostis*, y otros introducidos como *Lolium perenne*, *Dactylis glomerata*, *Festuca arundinacea* combinada con establecimiento de plantones de *Polylepis racemosa* (Quinual) en los taludes con pendiente moderada, para mejorar la estabilidad superficial de dichas áreas, con distancia entre plantones de 3x3m a 2x2 m. En las figuras 12 y 13 se muestra el prendimiento de la vegetación.



Figura 12 : Prendimiento de vegetación. Sector Canrash km 94



Figura 13 : Prendimiento de *Lupinus sp.* Sector Canrash km 94

c. Instalación de estructuras de Sedimentación y mantas en la superficie. Se realizó la canalización a lo largo del flujo de aguas procedentes de talud, incluyendo una serie de 7 pozas de sedimentación consecutivas y una berma de sedimentación. Esto fue necesario para contener el flujo de sedimentos y tratarlos antes de su ingreso en la laguna. Las dimensiones de las pozas fueron calculadas de acuerdo al volumen de agua generado. Para mejorar su capacidad de retención se procedió a dividir la poza de sedimentos principal en el kilómetro 94, de tal manera que se disminuya la velocidad de arrastre de los sedimentos y aumente el tiempo de retención mejorando la capacidad del sistema.



Figura 14: Sistema de sedimentación en la laguna de Canrash (km 94)



Figura 15 : Vertedero de entrada en el km 94 del sector Canrash (año 2001)



Figura 16 : Limpieza de pozas de sedimentación km 97 Canrash



Figura 17: Zanja de lagrimeo (Weeb berm). Sector Canrash



Figura 18 : Anclaje de enkamat al pie de talud de relleno. Sector Canrash km 94



Figura 19 : Colocación de enkamat en talud de relleno. Sector Canrash km 94



Figura 20 : Colocación de mantas de enkamat km 94. Sector Canrash (año 2001)



Figura 21 : Colocación de top soil sobre enkamat. Sector Canrash km 94 (año 2001)



Figura 22 : Desarrollo de grass en la laguna de Canrash (año 2002)



Figura 23 : Sistema de muros de roca en talud de relleno Canrash para restaurar áreas con cárcavas (año 2003)

- d. Vertido de floculantes y coagulantes:** Se llevó a cabo con las aguas procedentes del talud, a lo largo del circuito mencionado, antes de su ingreso en la laguna de Canrash. De acuerdo con ensayos llevados a cabo con los sedimentos, se determinó que habían muchas partículas coloidales menores a 10 micras por lo que la eficiencia de las pozas de sedimentación no eran suficientes para retener los sedimentos que ingresaban a la laguna.



Figura 24: Construcción de las casetas para floculantes km 94.



Figura 25: Almacén para tanques de floculantes y coagulantes km 97.

Se realizó un análisis de los sedimentos presentes en el agua para determinar el tipo de floculantes y coagulantes adecuados para ayudar con el proceso de sedimentación de los sólidos disueltos. Ensayos previos (floculación y coagulación) en pequeña escala evidenciaron que eran convenientes el floculante Raifloc 8362 y el coagulante el Raifloc 3490, ambos compuestos en base a poliacrilamidas. Para su uso se siguieron las instrucciones del fabricante y las recomendaciones de seguridad y medio ambiente indicadas en las hojas de seguridad MSDS.

Se determinó la ubicación general donde se instalarían las estaciones para la mezcla de los productos mencionados, determinándose su ubicación al lado de la carretera en el kilómetro 94 y otra en el kilómetro 97. Los reactivos se mezclan con agua en tanques y luego por gravedad son dosificados hacia los puntos de adición. La línea de adición del coagulante se colocó alrededor de 60 metros antes de la línea de descarga de floculante para la formación de los coágulos y posteriormente por acción de la corriente se combinaran con el floculante y pasen por el sistema de pozas de sedimentación.

Los puntos de tratamiento fueron

- a. El agua interceptada y canalizada a la descarga de la laguna Canrash (drenaje por debajo del kilómetro 89+00 al kilómetro 98+00)
- b. El agua interceptada en el talud de relleno al oeste del kilómetro 94-400. Mediante canales de intersección.
- c. El agua interceptada al este del talud de corte del tramo comprendido entre los kilómetros 94+400 a 95+200 kilómetros.
- d. Instalación de drenajes horizontales para drenar el agua proveniente de los humedales en la cima de los taludes de corte. Esto se inició con la instalación de drenes horizontales exploratorios el 2003 (GOLDER, 2003), debido a que las banquetas ubicadas sobre el talud de corte presentaban movimientos atribuidos a condiciones geológicas impulsadas por la saturación y la presión del agua en los esos taludes. Estos movimientos fueron más frecuentes en la temporada de lluvias. Se implementaron ocho drenajes horizontales en el talud de corte y ocho en el talud de relleno entre los kilómetros 94 + 360 y 94 + 580 para desecar algunas filtraciones y explorar otras áreas que requieran mayores estudios. Se recomendó la implementación de más drenes horizontales de dos pulgadas de diámetro y 100 metros de profundidad en el talud de corte los cuales estarían espaciados cada 30 metros. Un esquema de la ubicación de estos drenes se pueden ver en la figura 26.

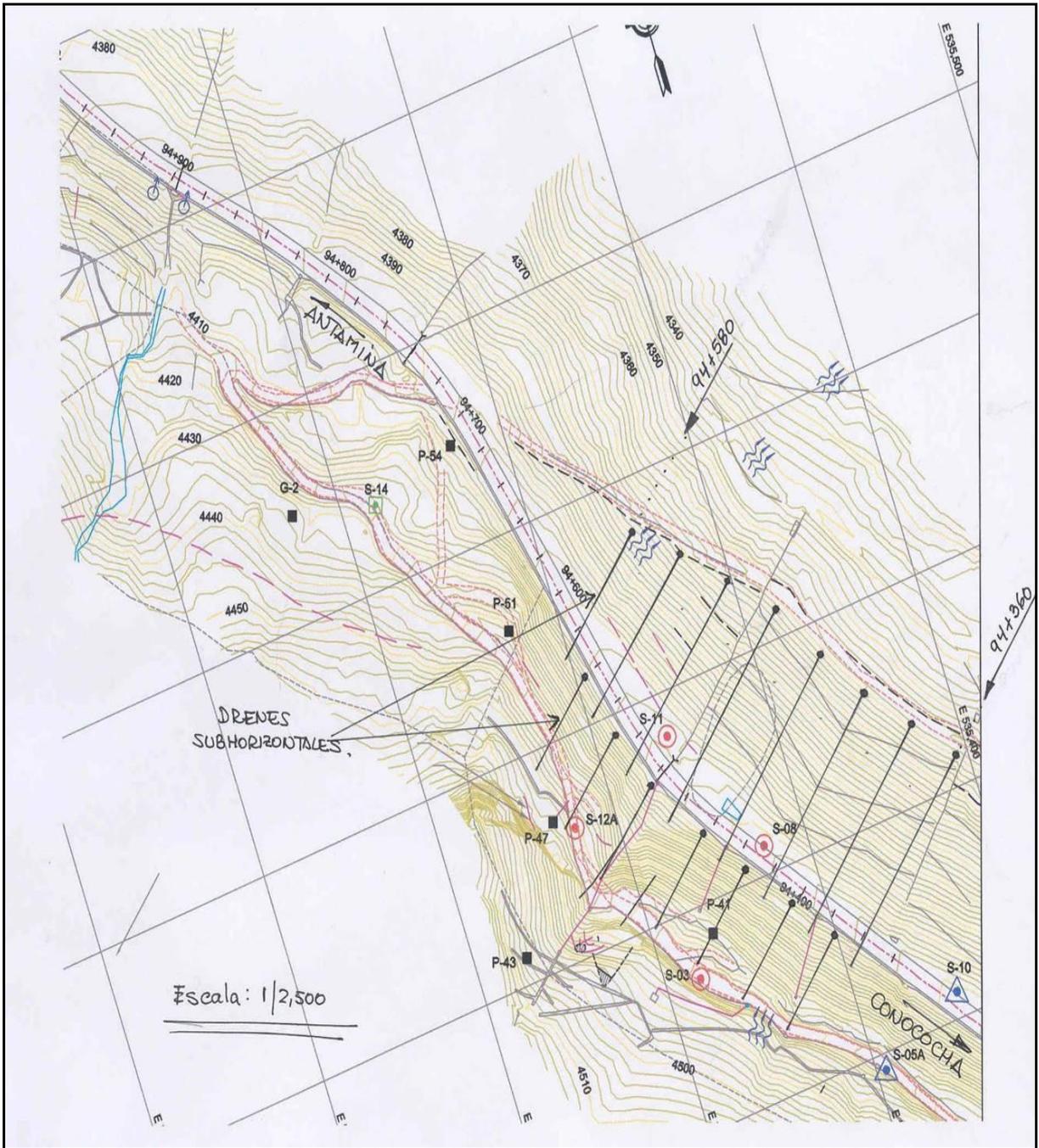


Figura 26: Esquema de ubicación de los drenes horizontales

FUENTE: Antamina 2007

Los datos obtenidos de muestras de agua, antes y después de los tratamientos, durante los años 2005 al 2007. Las muestras de agua se tomaron en los siguientes puntos:

- a. Kilómetro 94: (Control del talud de relleno)
 - Muestras de agua colectadas antes del ingreso al sistema de tratamiento de floculantes y pozas de sedimentación y del área en proceso de revegetación (Ingreso).
 - Muestras de agua colectadas a la salida del sistema de floculantes y área de revegetación (Salida).
- b. Kilómetro 97: (Control del talud de corte)
 - Muestras de agua colectadas antes del ingreso al sistema de tratamiento de floculantes, pozas de sedimentación y Zanja de lagrimeo (Weep Berm) (Ingreso).
 - Muestras de agua colectadas en la caída hacia la quebrada Canrash, luego de pasar por el sistema de floculantes, zanja de lagrimeo (Weep Berm) y pasturas naturales. (Salida).

Estos controles fueron incluidos en el Plan de Monitoreo de Antamina. Un ejemplo se puede verificar en el Plan de Monitoreo Ambiental del año 2006, en el cual se indica “Los Sistemas de Control de Sedimentos están localizados en los kilómetros 94 y 97 de la carretera de acceso Conococha-Antamina. Ambos sistemas consisten en un tanque y tuberías asociadas, válvulas y equipo de medición de flujos para la adición por gravedad del floculante y coagulante en cantidades controladas para la descarga de sedimentos en el agua que fluye de la zona de la falla de pendiente, y las pozas de sedimentación las cuales descargan a un curso de drenaje a través de un humedal hacia el final del lado sur de la laguna”.

3.4 COLECTA DE DATOS Y PERSONAL

Las muestras de agua fueron colectadas en botellas de plástico, siguiendo el protocolo indicado por las guías del Ministerio de Energía y Minas para la colección de muestras.

La frecuencia de los monitoreos fue diaria, y en época de lluvias hasta 2 veces por día.

La data correspondiente a los años 2005, 2006 y 2007 fue emitida y autorizada por Compañía Minera Antamina (Anexo 2. Carta de autorización de Antamina) para servir como sustento del presente trabajo de tesis.

3.5 ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA

El análisis estadístico empleado para los datos contempla el uso de variables estadísticas simples como media, desviación estándar y coeficiente de variación,

El análisis de resultados se realizó por cada sector y año en función a la estacionalidad del período de lluvias, se agruparon los resultados obtenidos de la siguiente manera:

- a. Octubre a diciembre: inicio del período de lluvias
- b. Enero a Marzo: período máximo lluvias
- c. Abril a Mayo: período final de lluvias

Se analizó la data conjunta de los kilómetros 94 y 97 por tratarse de la evaluación de un solo cuerpo de agua (laguna Canrash).

3.6 PONDERACIÓN CUALITATIVA DE LOS TRATAMIENTOS BASADA EN SU CONVENIENCIA EN COSTOS, TIEMPOS Y PERSONAL REQUERIDO PARA INSTALACIÓN.

En el acápite anterior se documentaron los diferentes tratamientos en la perspectiva de su eficiencia directa en el control de la erosión para las actividades mineras. En ese contexto, los tratamientos ofrecen resultados:

- Similares: Para el caso de la siembra directa
- Más o menos similares: Para el caso de las pozas de sedimentación y la zanja de lagrimeo
- Sobresalientes: Para el caso de los tratamientos con floculantes

En este acápite se hará una ponderación cualitativa de la conveniencia de uso de estos basados en los costos, volumen de equipos a transportar/instalar y disponibilidad de los insumos en el mercado, tiempos de instalación y desarrollo de los tratamientos y cantidad de personal requeridos para su implementación. La ponderación de estos valores ha sido basada en una escala aditiva tipo Likert (INSHT, 1982), la cual es una escala ordinal y como tal no mide en cuánto es más favorable o desfavorable una actitud.

La escala Likert combina los aspectos de carácter psicológico y estadístico con la comprensión de un cruce de variables analítico interpretativo (Malave E, 2007), tiene la

ventaja de que es fácil de construir y de aplicar, y, además, proporciona una buena base para una primera ordenación de los individuos en la característica que se mide.

Ventajas de la escala de Likert (INSHT-España, 1982)

- La escala es de fácil construcción y aplicación.
- Puede utilizar ítems no relacionados manifiestamente con el tema (pero sí de forma latente).
- A pesar de la ausencia de teoría justificativa para la "escalabilidad", en la práctica, las puntuaciones del cuestionario Likert proporcionan con frecuencia la base para una primera ordenación de la gente en la característica que se mide.

Luego de implementados los paquetes técnicos, se procedió a evaluar los mismos de acuerdo con la escala de Likert, considerando ☐ Costos, volumen de equipo a transportar, personal requerido, tiempo de instalación, disponibilidad en Perú y temporalidad de la supervisión. Para lo mencionado, se utilizara los siguientes calificativos en cada caso:

Costo de instalación

- 1= Costo bajo (menos de U\$ 50,000).
- 2= Costo medio (entre U\$ 50,000 y 100,000).
- 3=Costo alto (más de U\$ 100,000).

Costo de Operación

- 1= Costo bajo (menos de U\$ 50,000).
- 2= Costo medio (entre U\$ 50,000 y 100,000).
- 3=Costo alto (más de U\$ 100,000).

Volumen de equipo a transportar/ Instalar

- 1= Bajo, poco volumen es fácil de transportar e instalar.
- 2=Medio, volumen requiere transporte pesado y la instalación requiere supervisión técnica.
- 3=Alto, volumen requiere transporte pesado y la instalación requiere diseños especiales.

Personal requerido

- 1= Bajo, poco personal (1 o 2) para instalación y operación.
- 2=Medio, demanda al menos 3 a 10 trabajadores.
- 3=Alto, requiere más de 10 trabajadores para su instalación y/o operación.

Tiempo de instalación

1= Bajo, tiempo para instalación menor a 1 semana.

2=Medio, demanda al menos 4 semanas.

3=Alto, requiere más de 4 semanas.

Disponibilidad en Perú

1= Bajo, Disponibilidad local.

2=Medio, Disponible en Perú, pero no en el lugar de trabajo, demanda movimiento logístico.

3=Alto, No disponible en Perú

Supervisión

1= Bajo, No necesita supervisión permanente.

2=Medio, requiere supervisión técnica y periódica.

3=Alto, requiere supervisión permanente

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 RESULTADOS POR PARÁMETROS

4.1.1 TOTAL DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS (TSS)

En el Cuadro 1, se muestran los promedios de los valores de TSS de ingreso y salida para los tratamientos utilizados en el control de sedimentos. Cabe destacar que se tomó como control el valor del Límite permisible indicado en la normativa peruana para calidad de agua: Decreto Supremo 010-2010-MINAM, se aprobaron los límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero –metalúrgicas, derogando en parte la resolución ministerial 011-96-EM/VMM.

Cuadro 1: Resumen de los valores máximo, mínimo y promedio por año.

Variable	N	Año	Valor máximo (mg/l)	Valor mínimo (mg/l)	Promedio	CV (%)	LMP (mg/l)
TSS de ingreso	333	2005	307	1	21,88	172,98	Sin límite
	166	2006	236	1	19,60	138,92	Sin Limite
	74	2007	567	5	40,84	194,45	Sin Limite
TSS de salida	333	2005	37	1	5,76	96,08	25
	166	2006	69	1	6,96	98,97	25
	74	2007	36	5	10,53	56,57	25

FUENTE: Registros de monitoreo de campo – Compañía Minera Antamina (2005-2007)

De los resultados mostrados para TSS se puede determinar que el mayor valor promedio de ingreso se registró el año 2007 con 40, 84 mg/l. Asimismo, el mayor porcentaje en el coeficiente de variabilidad se registró para ese mismo año, es decir, el grado de dispersión de datos para el caso de las muestras de TSS de ingreso fue elevado.

Por otro lado, el menor valor promedio de TSS se registró en 2006 (19,60 mg/l), siendo su coeficiente de variabilidad menor. Esto se explica en primer lugar, a que los registros de precipitación pluvial para ambos años, fueron tomados durante la época de lluvias.

En las Figuras 27, 28 y 29 se muestran los histogramas de precipitación pluvial para los años 2005, 2006 y 2007. Para el año 2007 el valor máximo de salida es ligeramente menor, lo cual demuestra el resultado de asentamiento de partículas debido al desempeño del sistema en el control de sedimentos a pesar que en la zona se realizaron trabajos permanentes de limpieza de canales y mantenimiento de las estructuras de control de erosión.

Por otro lado, todos los valores promedio de salida se encuentran dentro del rango determinado por la normativa vigente.

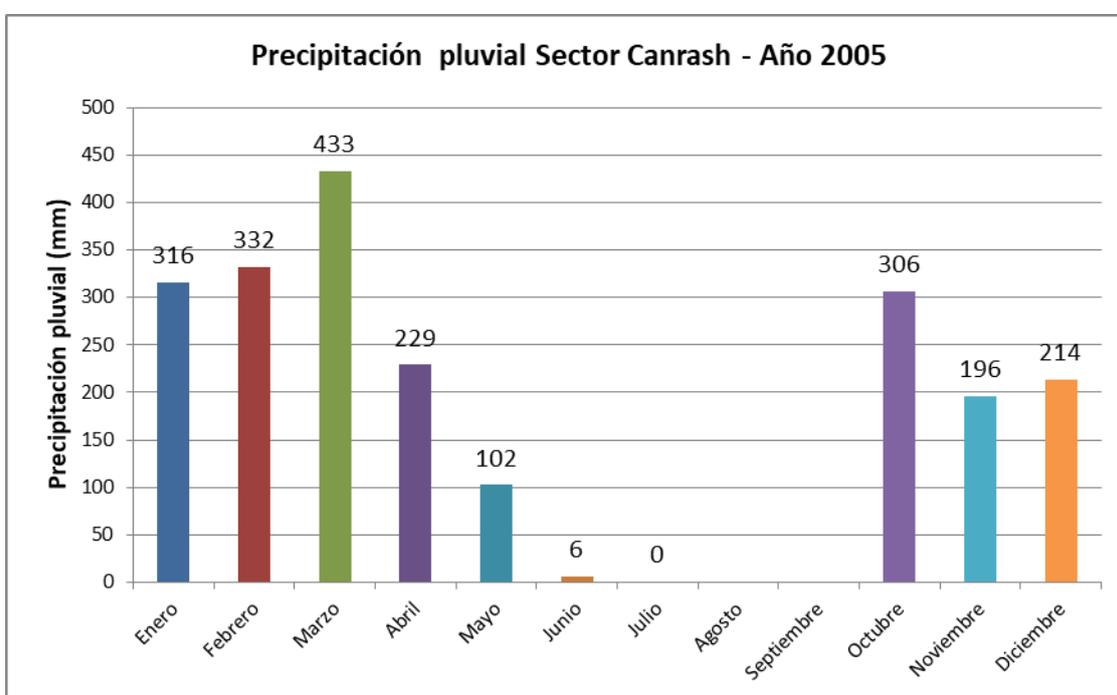


Figura 27: Datos de precipitación pluvial correspondiente al sector Laguna Canrash (km 94 y 97) año 2005.

FUENTE: Registros de monitoreo de campo – Compañía Minera Antamina (2005-2007)

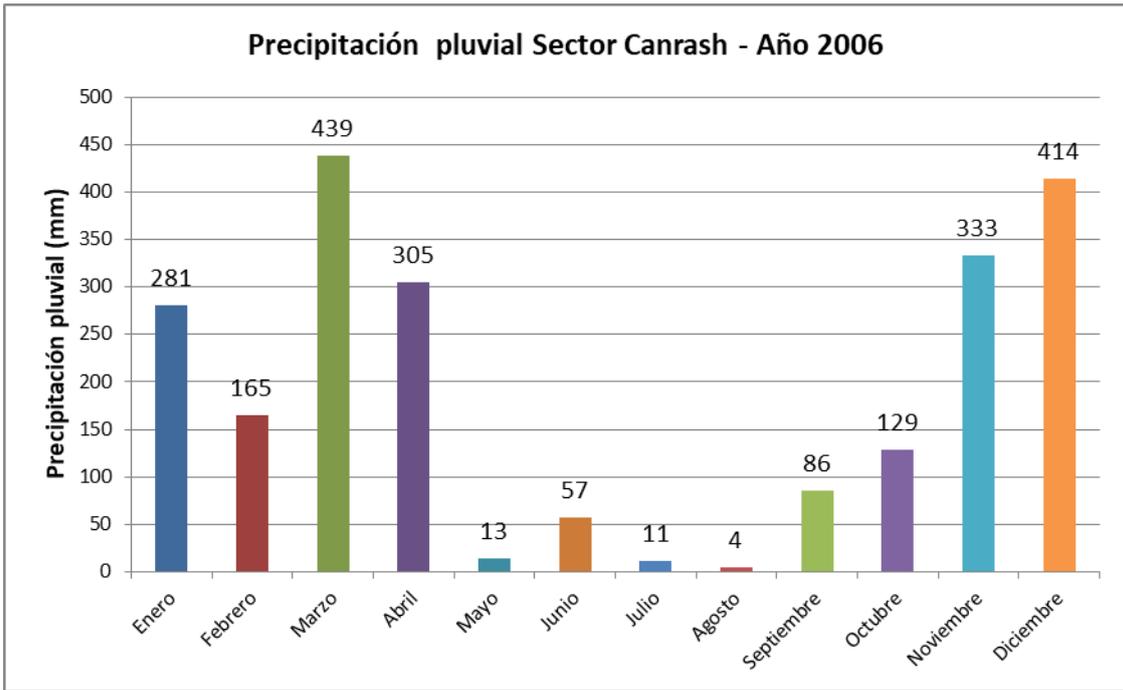


Figura 28: Datos de precipitación pluvial correspondiente al sector Laguna Canrash (km 94 y 97) año 2006.

FUENTE: Registros de monitoreo de campo – Compañía Minera Antamina (2005-2007)

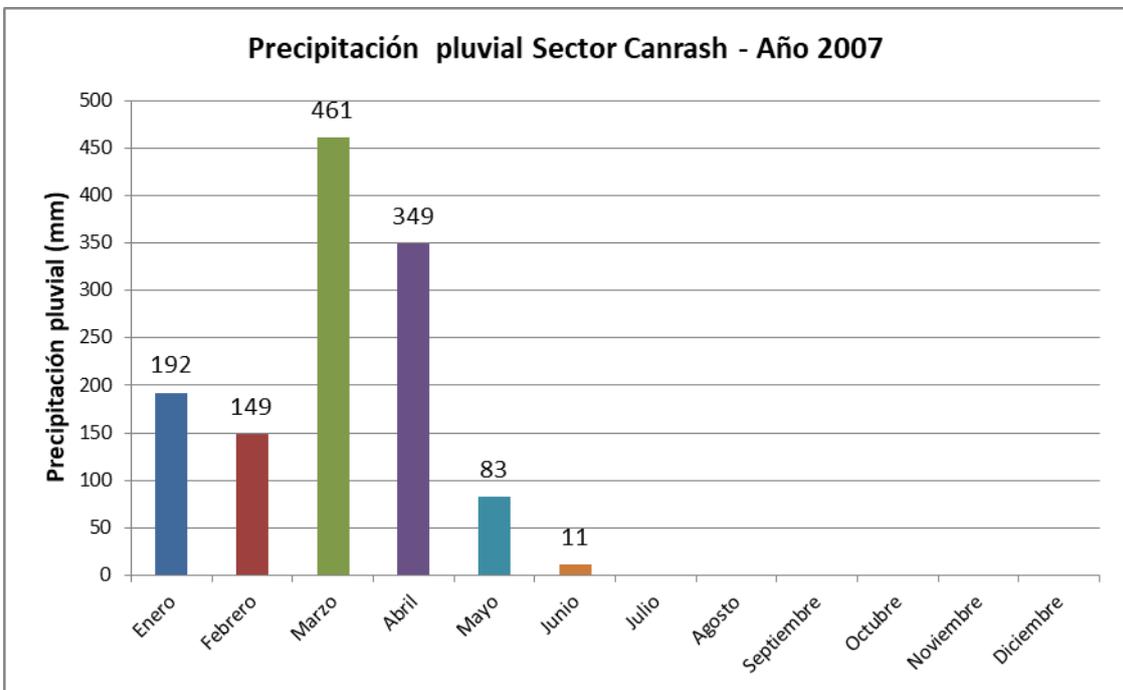


Figura 29: Datos de precipitación pluvial correspondiente al sector Laguna Canrash (km 94 y 97) año 2007.

FUENTE: Registros de monitoreo de campo – Compañía Minera Antamina (2005-2007)

De las figuras 27, 28 y 29 se puede observar que los meses con mayor precipitación pluvial para los años 2005, 2006 y 2007 fueron enero a marzo y octubre a diciembre. Siendo el 2006 el que presentó mayor precipitación pluvial acumulada 2237.3 mm y el año 2007 el de menor precipitación pluvial con 1245.3 mm. No se hicieron mediciones posteriores a junio de 2007, debido a que se había logrado controlar el ingreso de sedimentos a la laguna Canrash. Adicionalmente, no se prosiguió con las mediciones debido a temas contractuales con los propietarios de los terrenos donde se encontraban las estaciones de floculación y monitoreo.

4.1.2 TOTAL DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS DE INGRESO

De acuerdo con la normativa vigente, los LMP miden la concentración de ciertos elementos, sustancias y/o aspectos físicos, químicos y/o biológicos que se encuentran en las emisiones, efluentes o descargas generadas por una actividad productiva en particular (SNMPE, 2012), para el caso del TSS de ingreso, no hay ningún tratamiento previo que se haya implementado, por lo tanto no hay un valor para LMP establecido por la norma vigente al momento de realizado el ensayo.

La distribución de datos obtenidos para el TSS de ingreso, agrupados por intervalos de clase, se muestra a continuación el Cuadro 2 así como en la Figura 30

Cuadro 2: Resumen de distribución de datos del total de sólidos suspendidos de ingreso

ID	Intervalo de clase	N° de observaciones	Porcentaje	Porcentaje acumulado
1	De 0 a 10,00 mg/l	253	44,15	44,15
2	10,00 a 30,00 mg/l	211	36,82	80,97
3	30,00 a 50,00 mg/l	51	8,90	89,87
4	50,00 a 70,00 mg/l	22	3,84	93,71
5	70,00 a 90,00 mg/l	14	2,44	96,15
6	90,00 a 110,00 mg/l	5	0,87	97,02
7	110,00 a 130,00 mg/l	3	0,52	97,54
8	130,00 a 150,00 mg/l	4	0,70	98,24
9	De 150 a 570 mg/l	10	1,76	100,00
Total		573	100.00	100,00

FUENTE: Datos de monitoreo de campo- Compañía Minera Antamina (2005-2007)

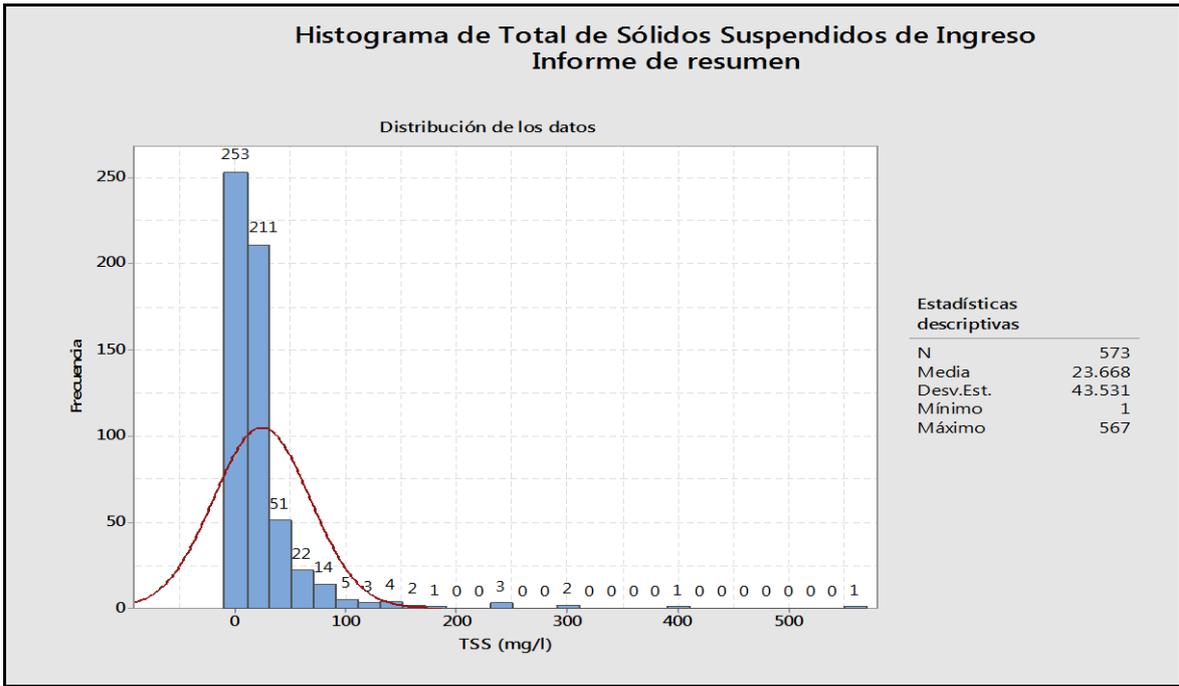


Figura 30: Histograma total de sólidos suspendidos de Ingreso

FUENTE: Registros de monitoreo de campo – Compañía Minera Antamina (2005-2007)

Se han registrado 253 observaciones con valores entre 0 y 10,00 mg/l. para el Total de Sólidos Suspendedos de Ingreso, correspondientes al 44,15 por ciento del total de datos registrados. Esto indica que la mayor cantidad de datos están ubicados en los intervalos que registran los menores valores de TSS.

4.1.3 TOTAL DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS DE SALIDA

En el Cuadro 3 se muestran a manera de resumen algunos de los estadísticos descriptivos más importantes respecto a la distribución de datos del Total de Sólidos Suspendedos de Salida.

Para el caso del TSS de Salida se considera el límite máximo permisible (LMP) establecido por la norma vigente al momento de realizado el ensayo, es de 50 mg/l.

La distribución de datos obtenidos para el TSS de salida, agrupados por intervalos de clase, se muestra a continuación en el Cuadro 3 así como en la Figura 31.

Cuadro 3: Resumen de distribución de datos del total de sólidos suspendidos de salida

ID	Intervalo de clase (mg/L)	N° de observaciones	Porcentaje	Porcentaje acumulado
1	De 0 a 1,25 mg/l	42	7,33	7,33
2	1,25 a 3,75 mg/l	133	23,21	30,54
3	3,75 a 6,25 mg/l	194	33,86	64,40
4	6,25 a 8,75 mg/l	77	13,44	77,84
5	8,75 a 11,25 mg/l	53	9,25	87,09
6	11,25 a 13,75 mg/l	17	2,97	90,05
7	13,75 a 16,25 mg/l	24	4,19	94,24
8	16,25 a 18,75 mg/l	5	0,87	95,11
9	18,75 a 20,25 mg/l	6	1,05	96,16
10	20,25 a 22,75 mg/l	6	1,05	97,21
11	22,75 a 25,25 mg/l	5	0,87	98,08
12	De 25,25 a 71,25 mg/l	11	1,92	100,00
Total		573	100,00	100,00

FUENTE: Datos de monitoreo de campo- Compañía Minera Antamina (2005-2007)

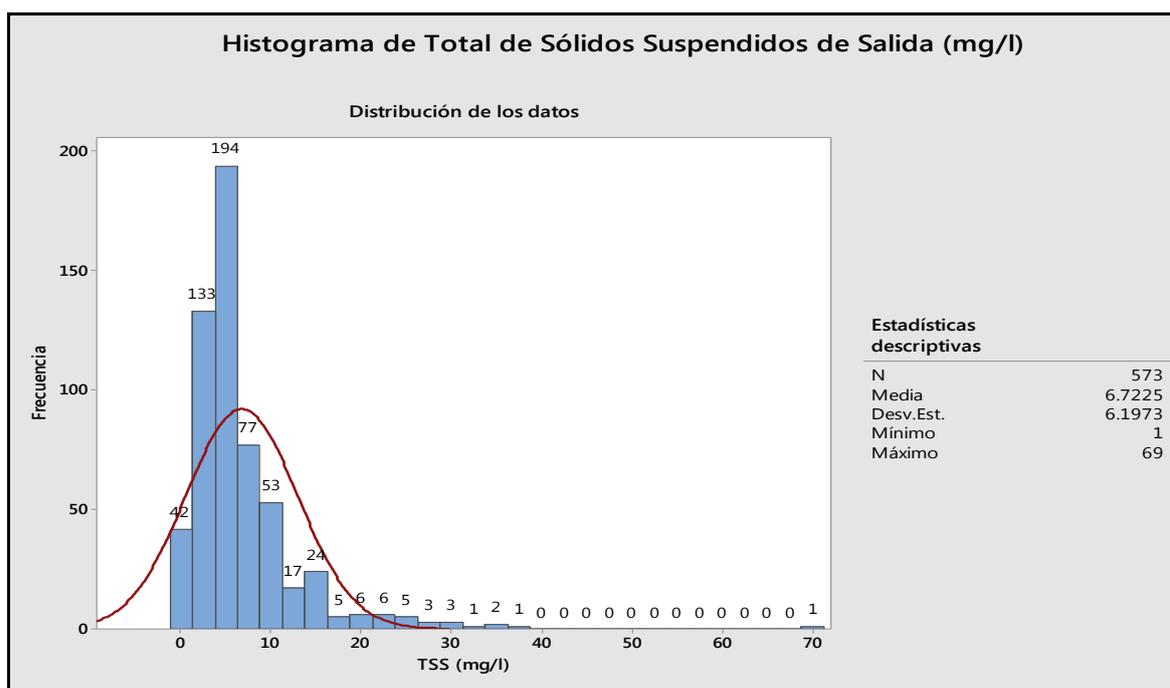


Figura 31: Histograma del total de solidos suspendidos de salida (mg/l).

FUENTE: Registros de monitoreo de campo – Compañía Minera Antamina (2005-2007)

El 33,86 por ciento del total de datos registrados para el Total de Sólidos Suspendidos de Salida se encuentra comprendido en el tercer intervalo de clase comprendido entre 3,75 y 6,25 mg/l.. Esto indica que los tratamientos efectuados en campo han sido eficaces para que los sólidos suspendidos se mantengan por debajo del límite permisible.

El 1.92 por ciento de datos obtenidos para el Total de Sólidos Suspendidos de salida, representan valores por encima del LMP. Las causas de estos resultados están relacionadas con aspectos tales como: Mantenimiento de canales y pozas de sedimentación, necesarios para el buen funcionamiento del sistema, básicamente en temporada de lluvias,

4.1.4 COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE TSS DE INGRESO Y TSS DE SALIDA

En el siguiente Cuadro 4 se muestra la comparación de los resultados obtenidos en la distribución de datos para el TSS de ingreso y el TSS de salida

Cuadro 4: Análisis comparativo de TSS de ingreso y TSS de salida totales

Variable	N	Media	Desviación estándar	C.V (%)	Valor máx.	Valor mín.	LMP
TSS de ingreso	573	23,668	43,531	183,92	567	1	Sin límite
TSS de salida	573	6,7225	6,1973	92,19	69	1	50

C.V. = Coeficiente de Variabilidad

LMP = Límite Máximo Permisible para descarga

FUENTE: Datos de monitoreo de campo- Compañía Minera Antamina (2005-2007)

Respecto al rango de distribución de datos, se obtiene para el caso del TSS de ingreso una mayor amplitud (entre 1 y 567 mg/l) en comparación del TSS de salida (entre 1 y 69 mg/l).

En cuanto a las medias obtenidas, para el caso del TSS de ingreso fue de 23,668 mg/l y para el TSS de salida de 6,7225 mg/l. Esto significa una reducción del nivel medio del Total de Sólidos Suspendidos del Ingreso hasta la salida, del orden de 71,60 por ciento.

Las desviaciones estándar obtenidas para el ingreso y salida fueron de 43,531 mg/l y 6,1973 mg/l respectivamente; mientras que los Coeficientes de Variación obtenidos fueron de 183,92 por ciento y 92,19 por ciento; es decir, el grado de dispersión de datos para el caso de la muestra del TSS de salida fue menor en relación a la muestra del TSS de ingreso en el orden del 50 por ciento.

Sólo para el caso del TSS de salida se considera el límite máximo permisible establecido por norma en 50 mg/l, registrándose tan sólo un valor puntual por encima del LMP equivalente a 69 mg/l.

En la Figura 32 se aprecia simultáneamente el histograma para la distribución de datos obtenidos del TSS de ingreso y de salida. Los Histogramas fueron elaborados con los registros de campo entre los años 2005-2007 de Compañía Minera Antamina.

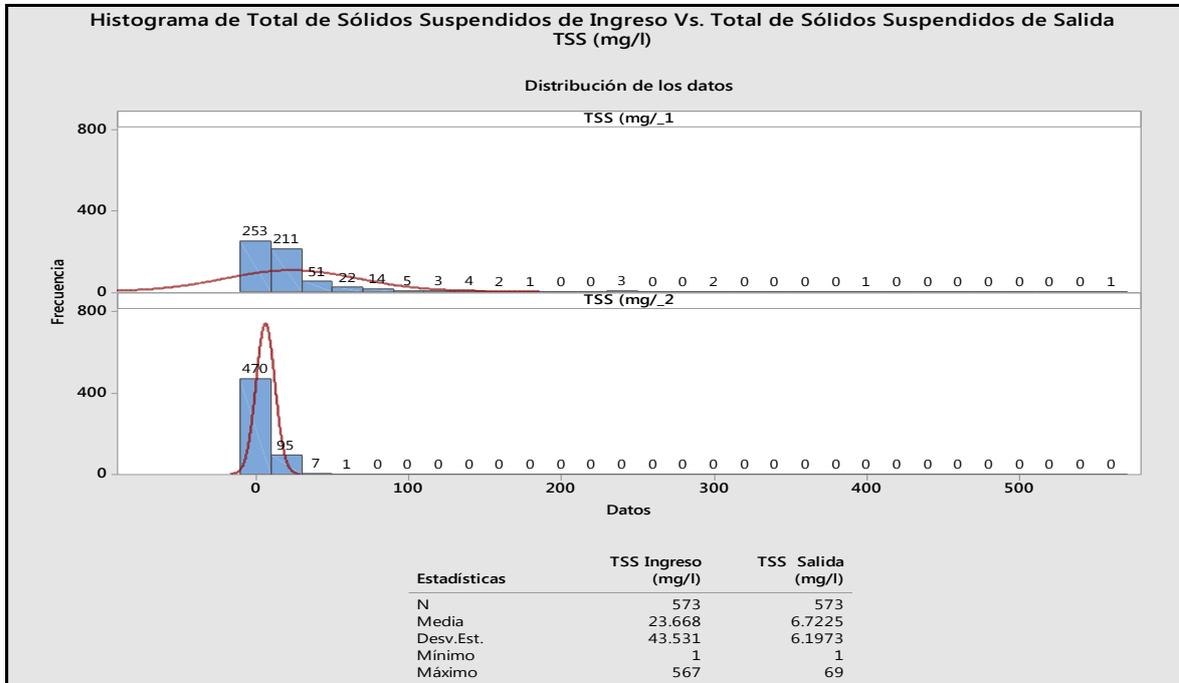


Figura 32: Histograma de total de sólidos suspendedos de ingreso vs total de sólidos suspendedos de salida TSS (mg/l).

FUENTE: Datos de Monitoreo de campo – Compañía Minera Antamina (2005-2007)

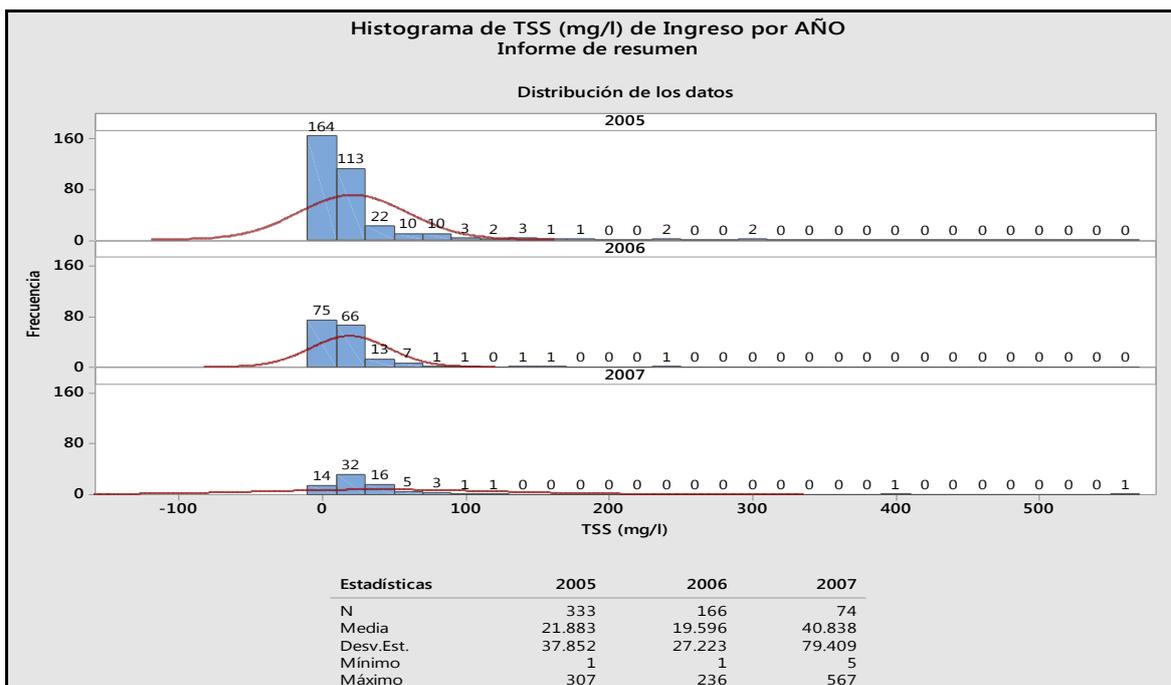


Figura 33: Histograma de total de sólidos suspendidos de ingreso vs. Total de sólidos suspendidos de salida TSS (mg/l)

FUENTE: Datos de Monitoreo de campo – Compañía Minera Antamina (2005-2007)

4.1.5 TOTAL DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS DE INGRESO POR AÑO

En el Cuadro 5 se pueden apreciar los estadísticos descriptivos más relevantes de la distribución de datos del TSS de ingreso por año tales como: media, desviación estándar, coeficientes de variación, valores mínimos, valores máximos.

Cuadro 5: Análisis comparativo de TSS de ingreso por año

Año	N	Media	Desviación estándar	C.V (%)	Valor máximo	Valor mínimo
2005	333	21,883	37,852	172,98	307	1
2006	166	19,596	27,223	138,92	236	1
2007	74	40,838	79,409	194,45	567	5

C.V. = Coeficiente de Variación

FUENTE: Datos de monitoreo de campo- Compañía Minera Antamina (2005-2007)

Se analizó el total de los resultados para TSS tanto en ingreso como en salida para los años 2005, 2006 y 2007.

El Total de Sólidos Suspendidos de Ingreso por año, presenta los siguientes rangos o variabilidades totales:

- Para el año 2005: desde 1 a 307 mg/l

- Para el año 2006: desde 1 a 236 mg/l
- Para el año 2007: desde 5 a 567 mg/l

Es decir en el año 2007 dicha variabilidad fue mayor respecto a los otros años evaluados, esta variabilidad en el rango de datos se debió a los rangos de precipitaciones máximas durante el 2007.

La mayor media anual obtenida para el TSS de ingreso correspondió al año 2007 (40,838 mg/l); mientras que la menor correspondió al año 2006 (19,596 mg/l).

La mayor desviación estándar obtenida para el TSS de ingreso correspondió también al año 2007 (79,409 mg/l); mientras que la menor corresponde al año 2006 (27,223 mg/l).

El mayor coeficiente de variación obtenido corresponde al año 2007 (194,45 por ciento); mientras que el menor coeficiente de variación corresponde al año 2006 (138,92 por ciento). En los 3 años de evaluación dicho coeficiente tuvo un valor superior al 100 por ciento.

4.1.6 COMPARACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE DATOS DEL TSS DE INGRESO POR AÑO

En el Cuadro 6 y en la Figura 34 se muestra la distribución de datos del Total de Sólidos Suspendidos de ingreso por año.

Cuadro 6: Análisis del histograma del TSS de ingreso por año

IC (mg/L)	Año 2005			Año 2006			Año 2007		
	N° Obs. TSS Ing.	Porcentaje	Porcentaje acumulado	N° Obs. TSS Ing.	Porcentaje	Porcentaje acumulado	N° Obs. TSS Ing.	Porcentaje	Porcentaje acumulado
De 0 a 10	164	49,25	49,25	75	45,18	45,18	14	18,92	18,92
10 a 30	113	33,93	83,18	66	39,76	84,94	32	43,24	62,16
30 a 50	22	6,61	89,79	13	7,83	92,77	16	21,62	83,78
50 a 70	10	3,00	92,79	7	4,22	96,99	5	6,76	90,54
70 a 90	10	3,00	95,79	1	0,60	97,59	3	4,05	94,59
90 a 110	3	0,90	96,69	1	0,60	98,19	1	1,35	95,94
110 a 130	2	0,60	97,29	0	0,00	98,19	1	1,35	97,29
130 a 150	3	0,90	98,19	1	0,60	98,79	0	0	97,29
>150	6	1,81	100,00	2	1,21	100,00	2	2,71	100,00
Total	333	100		166		100	74		100

IC = Intervalo de clase

FUENTE: Datos de monitoreo de campo-Compañía Minera Antamina (2005-2007)

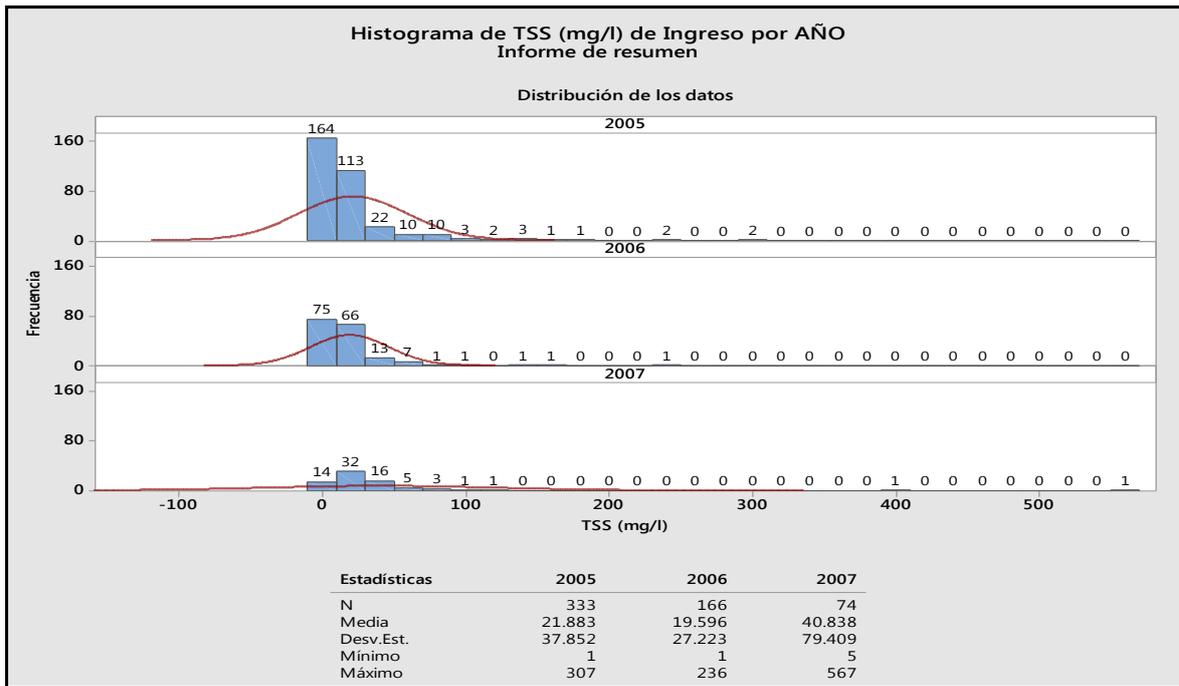


Figura 34 : Histograma de TSS (mg/l) de ingreso por año

FUENTE: Registros de monitoreo de campo – Compañía Minera Antamina (2005-2007)

Se puede apreciar que en los tres años de evaluación, el TSS de ingreso muestra una concentración de datos mayor al 90 por ciento que tiende a acumularse en los primeros cuatro intervalos de clase, es decir en el rango de 0 a 70 mg/l. Mientras que el resto de datos corresponden a valores mayores a 70 mg/l. El principal factor de los valores altos han sido las precipitaciones en la zona.

4.1.7 TOTAL DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS DE SALIDA POR AÑO

En el siguiente Cuadro 7 se muestran los estadísticos descriptivos más relevantes de la distribución de datos del TSS de salida por año tales como la media, desviación estándar, coeficientes de variación, valores mínimos, valores máximos.

Cuadro 7: Análisis comparativo de TSS de salida por año

Año	N	Media	Desv. estánd.	C.V (%)	Máximo	Mínimo
2005	333	5,7598	5,5338	96,08	37	1
2006	166	6,9578	6,8864	98,97	69	1
2007	74	10,527	5,9547	56,57	36	5

C.V. = Coeficiente de variación

FUENTE: Datos de monitoreo de campo- Compañía Minera Antamina (2005-2007)

El Total de Sólidos Suspendidos de Salida por año, presenta los siguientes rangos o variabilidades totales:

- Para el año 2005: desde 1 a 37 mg/l
- Para el año 2006: desde 1 a 69
- Para el año 2007: desde 5 a 36 mg/l

Es decir se tiene que en el año 2006 dicha variabilidad fue mayor respecto a los otros años evaluados debido a que en los meses de marzo y diciembre se alcanzaron precipitaciones mayores a 410 mm, y el registro acumulado anual fue de 2237, 5; mientras que para el año 2005 el registro acumulado anual fue de 2133 mm, y el año 2007 se registró 1245 mm de precipitación pluvial acumulada.

Las medias obtenidas por año para el TSS de salida fueron de 5,7598 mg/l para el año 2005, 6,9578 mg/l para el año 2006 y 10,527 mg/l para el año 2007; es decir fue mayor en este último respecto al 2005 y 2006. El mayor valor en el 2006 respecto a los demás años se debió a la mayor precipitación pluvial registrada para ese año.

Los coeficientes de variación obtenidos por año para el TSS de salida fueron de 96,08 por ciento para el año 2005, 98,97 por ciento para el año 2006 y 56,57 por ciento para el año 2007; es decir fue menor en este último respecto al 2005 y 2006. Estos coeficientes indican que hubo alta variabilidad en los años 2005 y 2006, mientras que el 2007 la variabilidad entre los datos se redujo. Esto indica que en el año 2007 las condiciones del terreno se estabilizaron con relación a años anteriores. La distribución de datos del Total de Sólidos Suspendidos de salida por año se muestra en el Cuadro 8 y en la Figura 35.

Cuadro 8: Análisis del histograma del TSS de salida por año

IC (mg/L)	Año 2005			Año 2006			Año 2007		
	N° Obs. TSS salida	Por ciento	Por ciento acumulado	N° Obs. TSS salida	Por ciento	Por ciento acumulado	N° Obs. TSS salida	Por ciento	Por ciento acumulado
De 0 a 1,25	35	10,51	10,51	7	4,22	4,22	0	0	0
1,25 a 3,75	100	30,03	40,54	33	19,88	24,10	0	0	0
3,75 a 6,25	113	33,93	74,47	66	39,76	63,86	15	20,27	20,27
6,25 a 8,75	29	8,71	83,18	23	13,85	77,71	25	33,78	54,05
8,75 a 11,25	25	7,51	90,69	17	10,24	87,95	11	14,86	68,91
11,25 a 13,75	7	2,10	92,79	3	1,81	89,76	7	9,46	78,37
13,75 a 16,25	7	2,10	94,89	10	6,02	95,78	7	9,46	87,83
16,25 a 18,75	3	0,90	95,79	0	0	95,78	2	2,70	90,53
18,75 a 21,25	3	0,90	96,69	1	0,60	96,38	2	2,70	93,23
>21,25	11	3,31	100,00	6	3,62	100,00	5	6,77	100,00
Total	333	100		166		100	74		100

FUENTE: Datos de monitoreo de campo- Compañía Minera Antamina (2005-2007)

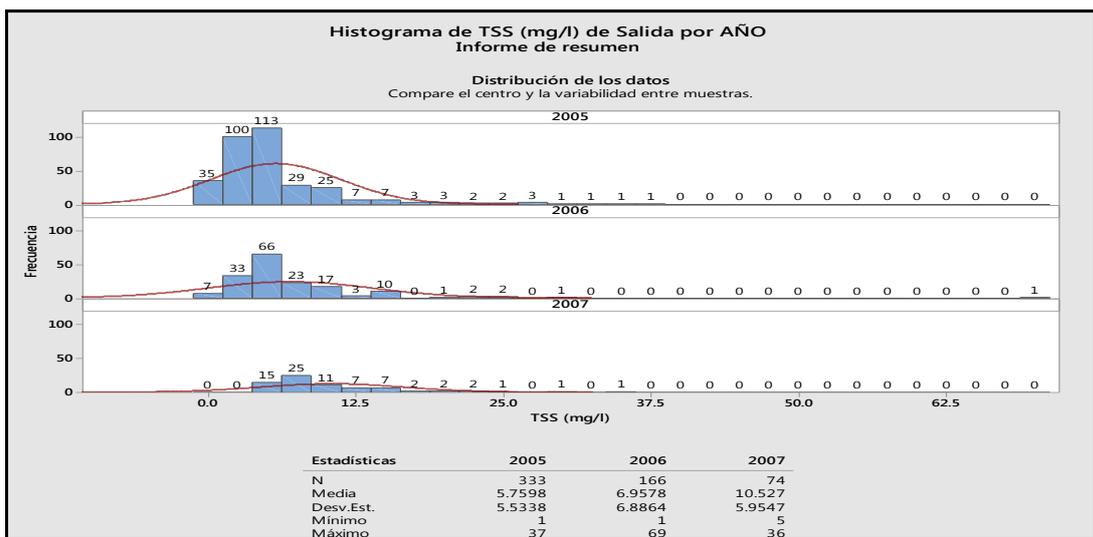


Figura 35 : Histograma de TSS (mg/l) de salida por año

FUENTE: Registros de monitoreo de campo – Compañía Minera Antamina (2005-2007)

Se pueden apreciar patrones de distribución y concentración distintos en los tres años de evaluación; mientras que en el año 2005 la distribución se concentró mayormente en los intervalos de clase comprendidos entre 1,25 hasta 6,25 mg/l (segundo y tercer intervalo de clase), en el año 2006 la mayor concentración de datos se dio tan sólo en el intervalo de clase que va de 3,75 a 6,25 mg/l. Finalmente, en el año 2007 la mayor concentración de datos se obtuvo en el intervalo de clase comprendido entre 6,25 y 8,75 mg/l. Esta mayor concentración en niveles de clase menor a 50 mg/l indica que los tratamientos aplicados en la laguna fueron efectivos.

4.1.8 TOTAL DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS DE INGRESO POR MESES

En el Cuadro 9 se puede apreciar los estadísticos descriptivos más resaltantes para el Total de Sólidos Suspendidos de Ingreso por meses.

Cuadro 9: Estadísticos descriptivos para el TSS suspendidos de ingreso por mes

Mes	N° observac.	Valor mínimo	Valor máximo	Media	Desv. Est.	C.V.
Enero	98	2	74	17,133	16,062	93,75
Febrero	79	2	567	24,329	65,821	270,54
Marzo	105	1	408	32,638	49,355	151,22
Abril	87	1	97	18,655	20,626	110,57
Mayo	54	1	102	10,296	17,784	172,73
Octubre	41	2	37	13,244	8,714	65,80
Noviembre	52	1	230	20,442	37,890	185,35
Diciembre	57	1	307	48,228	69,966	145,07

C.V. = Coeficiente de variación

FUENTE: Datos de monitoreo de campo- Compañía Minera Antamina (2005-2007)

Del Cuadro 9 y Figura 36, se advierte que las medias mensuales más altas obtenidas para el TSS de ingreso, corresponden a diciembre (48,228 mg/l) y marzo (32,638 mg/l). Ambos meses comprendidos en el período estacional de lluvias en la sierra, lo cual ayuda a inferir sobre dicho comportamiento.

La media más baja obtenida para el TSS de ingreso por meses, corresponde a mayo (10,296 mg/l), siendo este un mes caracterizado por condiciones de sequía de acuerdo al período estacional en la sierra (mayo – setiembre)

El coeficiente de variación más alto registrado para el TSS de ingreso mensual corresponde a febrero (270,54 por ciento); mientras que el valor más bajo correspondió a octubre (65,80 por ciento); de dicho comportamiento se infiere que guarda relación en el primer caso con el período de estación de lluvias y en el segundo caso con el período de sequía.

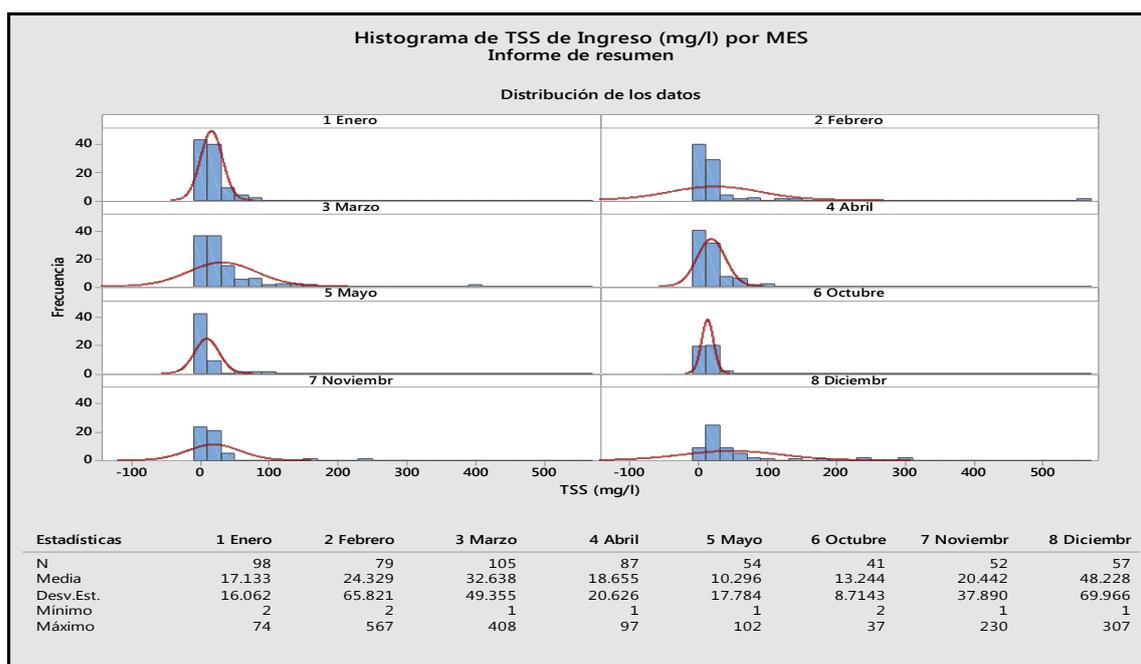


Figura 36 : Histograma de TSS de ingreso (mg/l) por mes

FUENTE: Datos de Monitoreo de campo – Compañía Minera Antamina (2005-2007)

4.1.9 TOTAL DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS DE SALIDA POR MESES

En el Cuadro 10 se puede apreciar los estadísticos descriptivos más resaltantes para el Total de Sólidos Suspendidos de Salida por meses.

Cuadro 10: Estadísticos descriptivos para el TSS suspendidos de salida por mes

Mes	N° observac.	Valor mínimo	Valor máximo	Media	Desv. est.	C.V. por ciento
Enero	98	1	30	6,041	4,886	80,89
Febrero	79	1	30	7,329	6,199	84,58
Marzo	105	1	37	8,914	6,763	75,86
Abril	87	1	36	5,874	5,234	89,10
Mayo	54	1	12	3,759	2,402	63,90
Octubre	41	1	15	5,049	3,493	69,18
Noviembre	52	1	32	5,808	4,899	84,36
Diciembre	57	1	69	9,158	10,276	112,21

FUENTE: Datos de Monitoreo de campo- Compañía Minera Antamina (2005-2007)

Del Cuadro 10 y Figura 37, se advierte que las medias mensuales más altas obtenidas para el TSS de salida, corresponden a diciembre (9,158 mg/l) y marzo (8,914 mg/l), ambos meses comprendidos en el período estacional de lluvias en la sierra, lo cual permite inferir sobre dicho comportamiento.

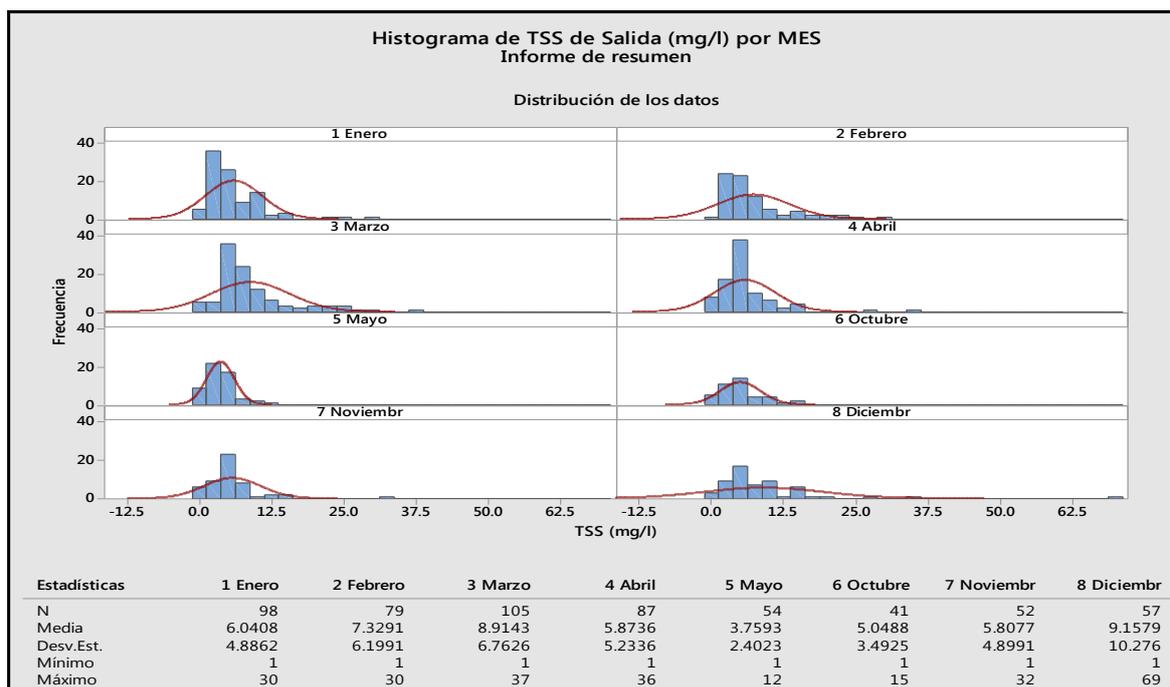


Figura 37 : Histograma de TSS de salida (mg/l) por mes.

FUENTE: Registros de monitoreo de campo – Compañía Minera Antamina (2005-2007)

La media mensual más baja obtenida para el TSS de salida, corresponde a mayo (3,759 mg/l), mes caracterizado por ausencia o escasez de precipitaciones de acuerdo al período de sequía estacional en la sierra (mayo – setiembre), lo cual permite inferir sobre dicho comportamiento.

El coeficiente de variación más alto registrado para el TSS de salida mensual corresponde a diciembre (112,21 por ciento); mientras que el valor más bajo corresponde a mayo (63,90 por ciento); dichos valores extremos guardan relación en el primer caso con el período de estación de lluvias y en el segundo caso con el período de sequía.

4.2 POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH) DE INGRESO Y SALIDA MEDIDO EN CAMPO

En el Cuadro 11 se muestran los valores máximo, mínimo y promedio por año de pH. Cabe destacar que estos datos fueron tomados directamente de las botellas donde se colectaron las muestras de TSS para laboratorio

Cuadro 11: Resumen de valores máximos, mínimos y promedio para pH.

Variable	N	Año	Valor máximo	Valor mínimo	Promedio	LMP
pH de ingreso	573	2005	9.97	6.6	7.86	Sin límite
		2006	9.67	6.76	7.63	Sin Limite
		2007	8.64	6.69	7.34	Sin Limite
pH de salida	573	2005	9.36	5.91	7.63	6-9
		2006	8.73	6.48	7.39	6-9
		2007	7.89	6.03	7.07	6-9

FUENTE: Datos de monitoreo de campo – Compañía Minera Antamina

4.2.1 RESULTADOS DE PH DE INGRESO

La distribución de datos obtenidos para el pH de ingreso, agrupado por intervalos de clase se muestra a continuación:

Cuadro 12: Distribución de datos de pH de ingreso por intervalos de clase

ID	Intervalo de clase	N° de observaciones	Porcentaje	Porcentaje acumulado
1	6,50 – 6,70	2	0,35	0,35
2	6,70 – 6,90	14	2,44	2,79
3	6,90 – 7,10	38	6,63	9,42
4	7,10 – 7,30	76	13,26	22,69
5	7,30 – 7,50	77	13,44	36,13
6	7,50 – 7,70	98	17,10	53,23
7	7,70 – 7,90	100	17,45	70,68
8	7,90 – 8,10	58	10,12	80,80
9	8,10 – 8,30	34	5,93	86,74
10	8,30 – 8,50	23	4,01	90,75
11	8,50 – 8,70	14	2,44	93,19
12	8,70 – 8,90	9	1,57	94,76
13	8,90 – 9,10	5	0,87	95,64
14	9,10 – 9,30	17	2,97	98,60
15	9,30 – 9,50	4	0,70	99,30
16	9,50 – 9,70	1	0,17	99,48
17	9,70 – 9,90	2	0,35	99,83
18	9,90 – 10,10	1	0,17	100,00
Total		573	100,00	100,00

FUENTE: Datos de monitoreo de campo- Compañía Minera Antamina (2005-2007)

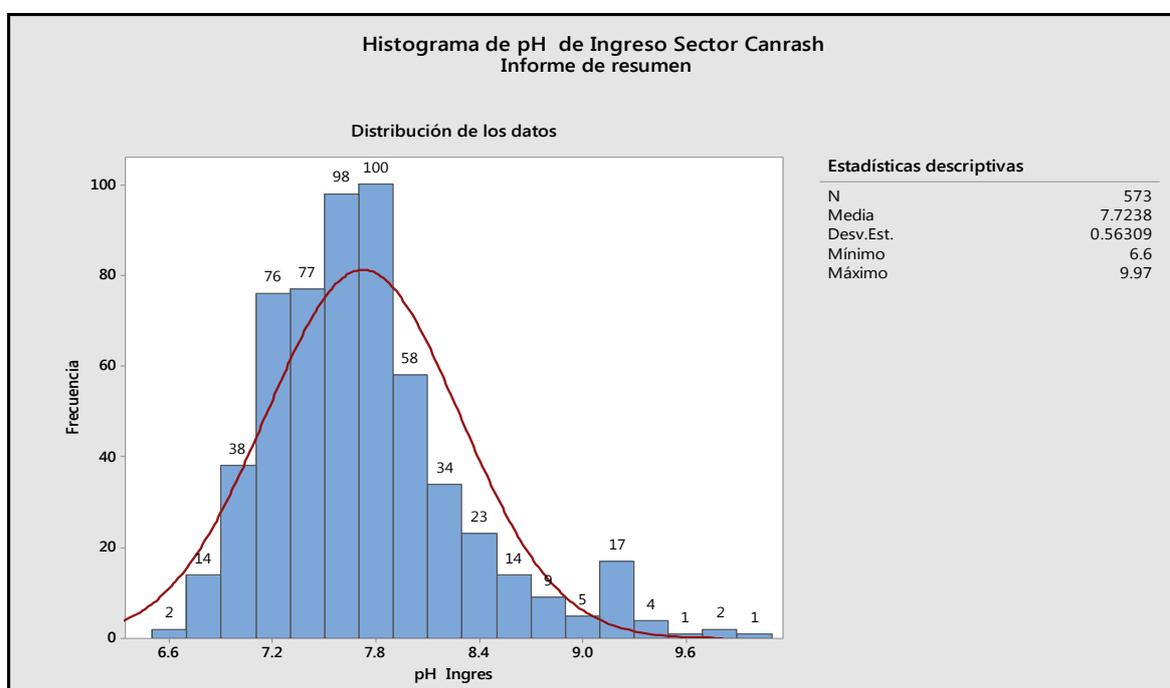


Figura 38 : Histograma de pH de ingreso sector Canrash

FUENTE: Datos de Monitoreo de campo – Compañía Minera Antamina (2005-2007)

De los resultados obtenidos del histograma para el pH de Ingreso (Figura 38 y Tabla 12), se tiene que la mayor concentración de datos de pH de Ingreso ocurre en los intervalos de

clase que van de 7,50 a 7,90 (34,55 por ciento del total de datos). Tal como se señaló anteriormente, la distribución de datos del pH de Ingreso muestra un sesgo positivo (sesgado hacia la derecha) por lo cual los datos tienden a acumularse más hacia la parte izquierda con respecto a la media. Los datos promedio más altos se registraron en el año 2005. Asimismo, debido a que el material rocoso quedó expuesto sobre las cunetas y taludes, se notó un aumento ligero de la acidez. De acuerdo con Gutiérrez, (2015) el pH es un indicador de la salud del ecosistema los valores que no cumplen con el estándar o se alejan de la neutralidad (pH=7), indican contaminación antrópica. Por lo que si el valor se mantiene más cerca de 7 nos indica que no se han producido alteraciones significativas en el ecosistema.

4.2.2 RESULTADOS DE PH DE SALIDA

La distribución de datos obtenidos para el pH de salida, agrupado por intervalos de clase se muestra a continuación:

Cuadro 13: Distribución de datos de pH de salida por intervalos de clase

ID	Intervalo de clase	N° de observaciones	Porcentaje	Porcentaje acumulado
1	5,90 – 6,10	2	0,35	0,35
2	6,10 – 6,30	0	0,00	0,35
3	6,30 – 6,50	9	1,57	1,92
4	6,50 – 6,70	16	2,79	4,71
5	6,70 – 6,90	43	7,50	12,22
6	6,90 – 7,10	64	11,17	23,39
7	7,10 – 7,30	75	13,09	36,47
8	7,30 – 7,50	74	12,91	49,39
9	7,50 – 7,70	76	13,26	62,65
10	7,70 – 7,90	97	16,93	79,58
11	7,90 – 8,10	59	10,30	89,88
12	8,10 – 8,30	33	5,76	95,64
13	8,30 – 8,50	14	2,44	98,08
14	8,50 – 8,70	6	1,05	99,13
15	8,70 – 8,90	3	0,52	99,65
16	8,90 – 9,10	0	0,00	99,65
17	9,10 – 9,30	1	0,17	99,83
18	9,30 – 9,50	1	0,17	100,00
	Total	573	100,00	100,00

FUENTE: Datos de monitoreo de campo – Compañía Minera Antamina (2005- 2007)

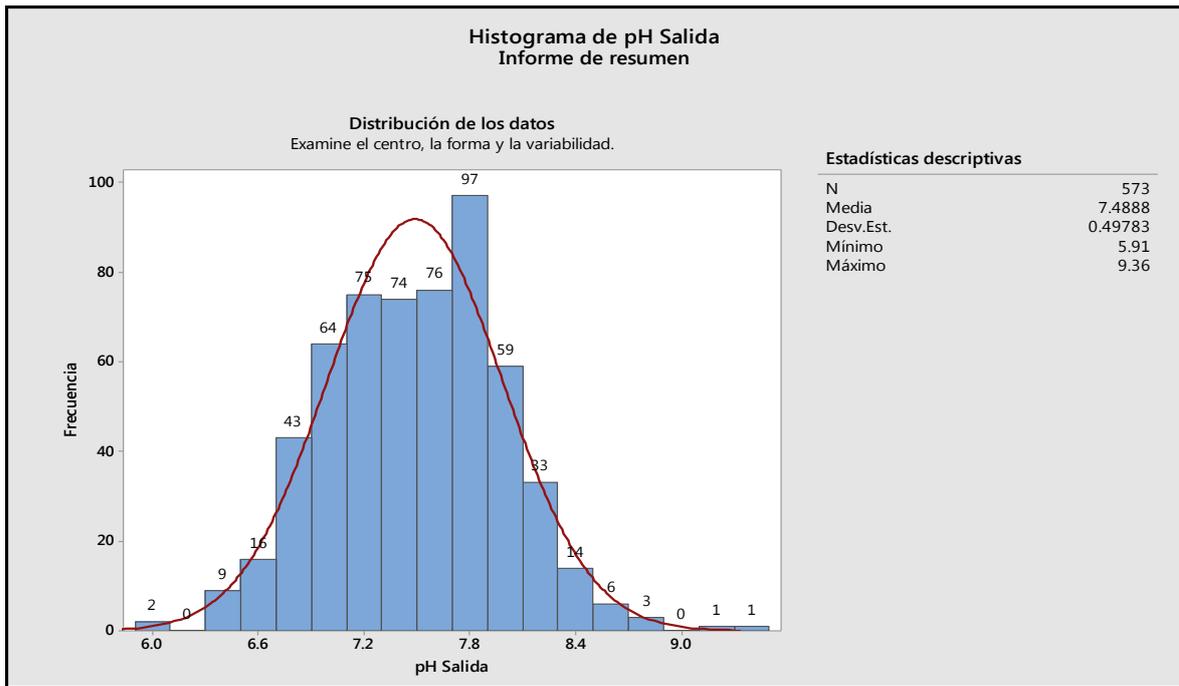


Figura 39 : Histograma de pH salida.

FUENTE: Registros de monitoreo de campo – Compañía Minera Antamina (2005-2007)

De los resultados obtenidos, en la figura 39 se puede apreciar que la mayor concentración de datos de pH de Salida ocurre en el intervalo de clase que va de 7,70 a 7,90 (16,93 por ciento del total de datos). Lo cual muestra la eficacia del sistema de tratamiento empleado en los taludes. Se aprecia también en los extremos derecho e izquierdo del histograma que 4 datos están por encima y por debajo de los Límites superior e inferior establecidos por norma, lo cual representa el 0.07 por ciento del total de datos colectados. Al respecto, (Gutierrez, 2015) indica “El pH ácido es negativo porque daña la calidad del agua para consumo humano y afecta a las comunidades de peces, ya que estos necesitan un rango de pH óptimo para sobrevivir. Los valores con pH menor a 6, se pueden deber al potencial de acidificación generado al momento de realizar trabajos fuera de la zona de tratamiento.

4.2.3 COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE PH DE INGRESO VS. PH DE SALIDA

En el Cuadro 14 se comparan los estadísticos descriptivos más importantes para el pH de ingreso y de salida.

Cuadro 14: Valores estadísticos obtenidos para pH de ingreso y salida

Variable	N	Media	Desviación estándar	Coefficiente de variación	Valor mínimo	Valor máximo	Límite superior	Límite inferior
pH de Ingreso	573	7,7238	0,56309	7,29	6,60	9,97	S.L.	S.L.
pH de Salida	573	7,4888	0,49783	6,65	5,91	9,36	9,00	6,00

S.L. = Sin límite

FUENTE: Datos de monitoreo de campo –Compañía Minera Antamina (2005-2007)

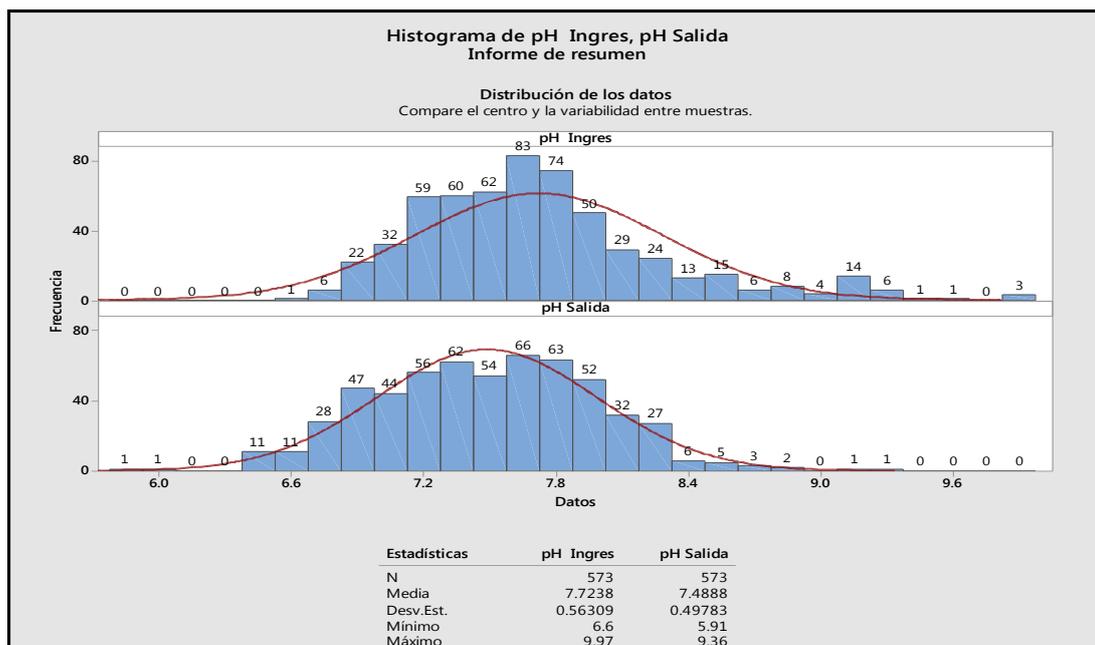


Figura 40 : Histograma de pH ingreso, pH salida.

FUENTE: Registros de monitoreo de campo – Compañía Minera Antamina (2005-2007)

De acuerdo al Cuadro 14 y Figura 40 se aprecia que el rango de distribución de datos para el caso del pH de ingreso varía desde 6,60 a 9,97; mientras que para el pH de salida el rango varía de 5,91 a 9,36.

Las medias obtenidas fueron: para el caso del pH de ingreso de 7,7238 y para el pH de salida de 7,4888. La reducción del nivel medio del pH del ingreso hasta la salida fue cercana al 3 por ciento, pero manteniéndose cercanos a 7. Esto nos permite inferir que los tratamientos no tuvieron influencia en éste parámetro.

Las desviaciones estándar obtenidas para el pH de ingreso y de salida fueron de 0,5639 y 0,49783 respectivamente; mientras que los Coeficientes de Variación obtenidos fueron de 7,29 por ciento y 6,65 por ciento, es decir que hay poca variabilidad en los datos con relación a la media. El grado de dispersión de datos para el caso de ambas muestras fue similar.

Para el pH de salida se consideran los límites superiores e inferiores establecidos por norma en 6 y 9 respectivamente. En el Cuadro 15 y figura 40 se muestra la distribución de datos de pH de ingreso y salida

Cuadro 15: Comparación de la distribución de datos de pH de ingreso y salida

Intervalo de clase (*)	N° de obs. (pH ingreso)	Porcentaje	Porcentaje acumulado	N° de obs. (pH salida)	Porcentaje	Porcentaje acumulado
≤ a 6.00	0	0	0	2	0,35	0,35
> 6,0 y ≤6,525	0	0	0	11	1,92	2,27
6,525 a 6,675	1	0,17	0,17	11	1,92	4,19
6,675 a 6,825	6	1,05	1,22	28	4,89	9,08
6,825 a 6,975	22	3,84	5,06	47	8,20	17,28
6,975 a 7,125	32	5,58	10,64	44	7,68	24,96
7,125 a 7,275	59	10,30	20,94	56	9,78	34,74
7,275 a 7,425	60	10,47	31,41	62	10,82	45,56
7,425 a 7,575	62	10,82	42,23	54	9,42	54,98
7,575 a 7,725	83	14,49	56,72	66	11,52	66,50
7,725 a 7,875	74	12,91	69,63	63	10,99	77,49
7,875 a 8,025	50	8,73	78,36	52	9,08	86,57
8,025 a 8,175	29	5,06	83,41	32	5,58	92,15
8,175 a 8,325	24	4,19	87,60	27	4,71	96,86
8,325 a 8,475	13	2,27	89,87	6	1,05	97,91
8,475 a 8,625	15	2,62	92,49	5	0,87	98,78
8,625 a 8,775	6	1,05	93,54	7	1,22	100,00
8,775 a 8,925	8	1,40	94,94			
>8,925	29	5,06	100,00			
Total	573	100	100	573	100	100

(*): Tamaños de IC, TSS ingreso = 10; IC TSS salida = 2,50

FUENTE: Datos de Monitoreo de campo- Compañía Minera Antamina (2005-2007)

Para el caso del pH de ingreso, las concentraciones de pH ocurrieron en mayor medida entre valores comprendidos entre 7,125 y 7,875 con aproximadamente el 60 por ciento del total de datos; mientras que para el pH de salida, la mayor concentración de datos ocurrió entre valores de pH comprendidos entre 7,125 y 8,025 (61,6 por ciento de datos obtenidos). En el histograma respectivo se puede apreciar dicha distribución (Figura40). No hubo variaciones significativas en los resultados de pH tanto de ingreso como de salida, manteniéndose la mayoría los valores dentro del rango estipulado por la normativa.

4.2.4 RESULTADOS DE PH DE INGRESO POR AÑO

Los estadísticos descriptivos más relevantes de la distribución de datos del pH de ingreso por año tales como la Media, desviación estándar y coeficiente de asimetría se muestran a continuación:

Cuadro 16: Análisis comparativo del pH de ingreso por año

Año	N	Media	Desviación estándar	Coficiente de variación	Valor Máximo	Valor Mínimo
2005	333	7,8571	0,60202	7,66	9,97	6,60
2006	166	7,6270	0,40694	5,34	9,67	6,76
2007	74	7,3416	0,45985	6,26	8,64	6,69

FUENTE: Datos de monitoreo de campo- Compañía Minera Antamina (2005-2007)

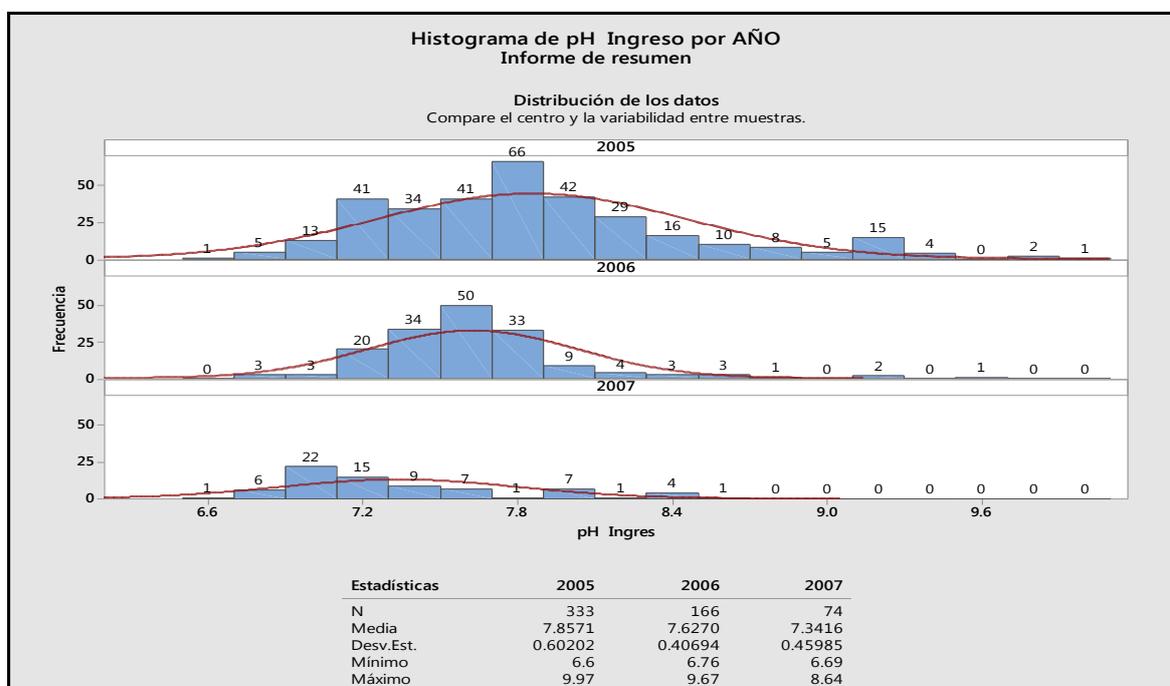


Figura 41 : Histograma de pH ingreso por año.

FUENTE: Registros de monitoreo de campo – Compañía Minera Antamina (2005-2007)

En todos los casos, al tomar en cuenta todos los valores registrados es posible obtener una adecuada representación de la distribución de datos.

El valor de la media de pH el 2005 (7,8571) es ligeramente más alcalino que el 2007 (7,3416). Esto se debe a que durante el año 2005 aún se tenía suelo sobre el material rocoso caído sobre las cunetas y taludes. Generando un incremento ligero de la alcalinidad.

Las desviaciones estándar obtenidas para el pH de ingreso en todos los años fueron menores a uno. Mientras que los coeficientes de variación anuales obtenidos fueron bajos siendo en todos los casos menores al ocho por ciento

La distribución de datos del pH de ingreso por año se resume en el Cuadro 17 y en la Figura 41.

Cuadro 17: Comparación de distribución de datos de pH de ingreso por año

IC	N° Obs. TSS ingreso 2005	Porcentaje	Porcentaje acumulado	N° Obs. TSS ingreso 2006	Porcentaje	Porcentaje acumulado	N° Obs. TSS ingreso 2007	Porcentaje	Porcentaje acumulado
<6,9	6	1,80	1,80	3	1,81	1,81	7	9,46	9,46
6,9 – 7,1	13	3,90	5,70	3	1,81	3,62	22	29,73	39,19
7,1 – 7,3	41	12,31	18,01	20	12,04	15,66	15	20,27	59,46
7,3 – 7,5	34	10,21	28,22	34	20,48	36,14	9	12,16	71,62
7,5 – 7,7	41	12,31	40,53	50	30,12	66,26	7	9,46	81,08
7,7 – 7,9	66	19,82	60,35	33	19,88	86,14	1	1,35	82,43
7,9 – 8,1	42	12,61	72,96	9	5,42	91,56	7	9,46	91,89
8,1 – 8,3	29	8,71	81,67	4	2,41	93,97	1	1,35	93,24
8,3 – 8,5	16	4,80	86,47	3	1,81	95,78	4	5,41	98,65
8,5 – 8,7	10	3,00	89,47	3	1,81	97,59	1	1,35	100,00
8,7 – 8,9	8	2,40	91,87	1	0,60	98,19	0		
8,9 – 9,1	5	1,50	93,37	0	0,00	98,19	0		
>9,1	22	6,62	100,00	3	1,81	100,00	0		
Total	333	100		166		100	74		100

FUENTE: Datos de monitoreo de campo- Compañía Minera Antamina (2005-2007)

Del Cuadro 17 se establece lo siguiente:

- En el año 2005, la mayor concentración de datos de pH de ingreso se obtiene en el intervalo de clase comprendido entre 7,7 y 7,9 con un 19,82 por ciento del total de datos.
- En el año 2006, la mayor concentración de datos de pH de ingreso se obtiene en el intervalo de clase comprendido entre 7,3 y 7,5 con un 20,48 por ciento del total de datos.
- En el año 2007, la mayor concentración de datos de pH de ingreso se obtiene en el intervalo de clase comprendido entre 6,9 y 7,1 con un 29,73 por ciento del total de datos.

Se nota un ligero descenso en los valores de pH entre los años 2005, 2006 y 2007. Esto posiblemente por la exposición del material rocoso que fue lavado por las lluvias durante esos años.

4.2.5 RESULTADOS DE PH DE SALIDA POR AÑO

Los estadísticos descriptivos más relevantes de la distribución de datos del pH de salida por año tales como la Media, desviación estándar, coeficientes de variación se muestran a continuación:

Cuadro 18: Análisis comparativo del pH de salida por año

Año	N	Media	Desviación estándar	C.V. %	Máximo	Mínimo	Limite permisible
2005	333	7,6255	0,50213	6,58	9,36	5,91	6-9
2006	166	7,3993	0,40918	5,53	8,73	6,48	6-9
2007	74	7,0743	0,37301	5,27	7,89	6,03	6-9

C.V. = Coeficiente de variación

FUENTE: Datos de monitoreo de campo- Compañía Minera Antamina (2005-2007)

Las medias obtenidas por año para el pH de salida fueron de 7,6255 para el año 2005, 7,3993 para el año 2006 y 7,0743 para el año 2007. Durante todos los años los tratamientos empleados para controlar la erosión en la laguna Canrash no afectaron los valores de pH, manteniéndose dentro de los límites establecidos por la normativa vigente y con valores cercanos a 7.

Las desviaciones estándar obtenidas por año para el pH de salida fueron de 0,50213 para el año 2005, 0,40918 para el año 2006 y 0,37301 para el año 2007. Los coeficientes de variación obtenidos por año para el pH de salida fluctuaron entre 5,27 por ciento en el año 2007 y 6,58 por ciento en el año 2005. Los coeficientes tanto de ingreso como de salida se consideran bajos al no haber variación significativa en sus resultados.

La distribución de datos del pH de salida por año se resume en el Cuadro 19, así como en la Figura 42.

Cuadro 19 : Análisis del histograma del pH de salida por años

IC	N° Obs. pH salida 2005	Porcentaje	Porcentaje acumulado	N° Obs. pH salida 2006	Porcentaje	Porcentaje acumulado	N° Obs. pH salida 2007	Porcentaje	Porcentaje acumulado
> 6,3	1	0,30	0,30	0	0	0	1	1,35	1,35
6,3 – 6,5	2	0,60	0,90	1	0,60	0,60	6	8,11	9,46
6,5 – 6,7	7	2,10	3,00	5	3,01	3,61	4	5,41	14,87
6,7 – 6,9	13	3,90	6,90	17	10,24	13,85	13	17,57	32,44
6,9 – 7,1	28	8,41	15,31	23	13,86	27,71	13	17,57	50,01
7,1 – 7,3	41	12,31	27,62	18	10,84	38,55	16	21,62	71,63
7,3 – 7,5	43	12,91	40,53	22	13,25	51,80	9	12,16	83,79
7,5 – 7,7	36	10,81	51,34	32	19,28	71,08	8	10,82	94,61
7,7 – 7,9	56	16,82	68,16	37	22,29	93,37	4	5,40	100,00
7,9 – 8,1	51	15,32	83,48	8	4,82	98,19	0		
8,3 – 8,5	32	9,61	93,09	1	0,60	98,79	0		
8,5 – 8,7	13	3,90	96,99	1	0,60	99,39	0		
8,7 – 8,9	6	1,80	98,79	0	0,00	99,39	0		
>8,9	4	1,21	100,00	1	0,60	100,00	0		
Total	333	100		166		100	74		100

FUENTE: Datos de monitoreo de campo- Compañía Minera Antamina (2005 – 2007)

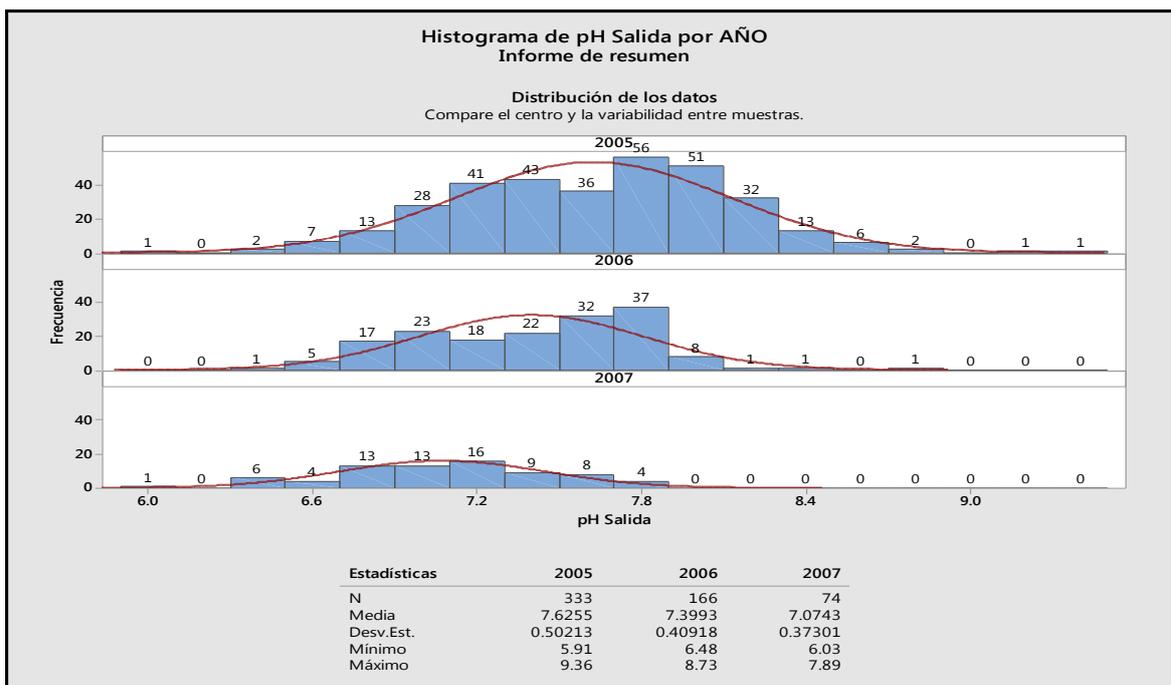


Figura 42: Histograma de pH salida por año

FUENTE: Datos de Monitoreo de campo – Compañía Minera Antamina (2005-2007)

La concentración de valores de pH de Salida por intervalos de clase por años presenta las siguientes características:

- Para el año 2005, la mayor concentración de datos se registra en el intervalo de clase comprendido entre valores de pH de 7,7 a 7,9 (16,82 por ciento del total de datos).
- Para el año 2006, la mayor concentración de datos se registra igualmente en el intervalo de clase comprendido entre valores de pH de 7,7 a 7,9 (22,29 por ciento del total de datos).
- Para el año 2007, la mayor concentración de datos se registra en el intervalo de clase comprendido entre valores de pH de 7,1 a 7,3 (21,62 por ciento del total de datos).

De acuerdo con los resultados se puede indicar que los valores de pH medidos en campo se han mantenido similares en los años 2005 y 2006, mientras que para el año 2007 se nota una disminución en este parámetro. Esto se debe a la exposición de material rocoso sometido a la precipitación pluvial que ha producido la reducción de pH de ingreso.

4.2.6 RESULTADOS DE PH DE INGRESO POR MESES

En el Cuadro 20 se puede apreciar los estadísticos descriptivos más resaltantes para el Total de pH de Ingreso por meses.

Cuadro 20: Estadísticos descriptivos para el pH de ingreso por meses

Mes	N° observ.	Valor mínimo	Valor máximo	Media	Desviación estándar	Coefficiente de variación
Enero	98	6,60	9,67	7,6109	0,53923	7,08
Febrero	79	6,79	8,49	7,4746	0,35593	4,76
Marzo	105	6,87	8,63	7,4320	0,34649	4,66
Abril	87	6,85	9,84	7,5561	0,40910	5,41
Mayo	54	7,27	9,48	7,9528	0,34267	4,31
Octubre	41	7,77	9,97	8,6398	0,61595	7,13
Noviembre	52	6,83	9,28	7,9987	0,62937	7,87
Diciembre	57	6,76	9,28	7,9307	0,49386	6,23

FUENTE: Datos de monitoreo de campo- Compañía Minera Antamina (2005 – 2007)

Del Cuadro 20 se advierte que la media más alta de pH de ingreso por mes registrada, corresponde a octubre (8,6398); mientras que la media más baja obtenida para dicha variable corresponde al mes de marzo (7,4320). Esto puede deberse a que las labores de limpieza y remoción de sedimentos en las pozas, se llevaron a cabo antes del inicio del periodo de lluvias (octubre), mientras que marzo marca el final de la temporada de lluvias.

El coeficiente de variación más alto registrado para el pH de ingreso mensual corresponde a noviembre (7,87 por ciento); mientras que el valor más bajo de dicho coeficiente correspondió al mes de mayo (4,31 por ciento); dichos resultados guardan relación en el primer caso con el período de estación de lluvias y en el segundo caso con la temporada seca.

Del análisis de los histogramas de pH de ingreso por meses (Cuadro 20), se advierte que la media más alta registrada corresponde al mes de octubre (8,6398) mes que coincide con la estación de sequía en la sierra. Por otra parte, el valor más bajo de las medias obtenidas para el pH de ingreso por meses, corresponde al mes de marzo (7,4320) mes que coincide con el período de lluvias en la sierra (octubre - marzo).

Dado que el pH del agua natural de lluvia es ligeramente ácido, esto explica por qué durante los meses con mayor cantidad de precipitaciones (diciembre a abril) los valores de pH suelen ser más bajos y por lo tanto más ácido.

Otro factor que puede explicar los resultados y el comportamiento de los niveles de pH registrados es en lo que concierne al coagulante y floculante empleado, dado que el efecto de desestabilización y arrastre de partículas en suspensión ocasionado por estos compuestos se ve favorecido con el aumento de las precipitaciones.

Los meses en que se registraron valores puntuales de pH por encima del Límite máximo permisible fueron enero (3), abril (1), mayo (1), octubre (17), noviembre (4) y diciembre (1).

4.2.7 RESULTADOS DE PH DE SALIDA POR MESES

En el Cuadro 21 se puede apreciar los estadísticos descriptivos más resaltantes para el Total de pH de Salida por meses.

Cuadro 21: Estadísticos descriptivos para el pH de salida por meses

Mes	Nº observ.	Valor mínimo	Valor máximo	Media	Desviación estándar	Coefficiente de variación
Enero	98	6,03	8,73	7,3652	0,45421	6,17
Febrero	79	6,47	8,04	7,2829	0,39847	5,47
Marzo	105	6,45	8,12	7,3003	0,37456	5,13
Abril	87	6,48	8,89	7,4345	0,44121	5,93
Mayo	54	6,90	8,80	7,8809	0,40920	5,19
Octubre	41	5,91	9,36	7,8393	0,52635	6,71
Noviembre	52	6,48	9,17	7,6773	0,61147	7,96
Diciembre	57	6,51	8,28	7,6212	0,49975	6,56

FUENTE: Datos de monitoreo de campo- Compañía Minera Antamina (2005 – 2007)

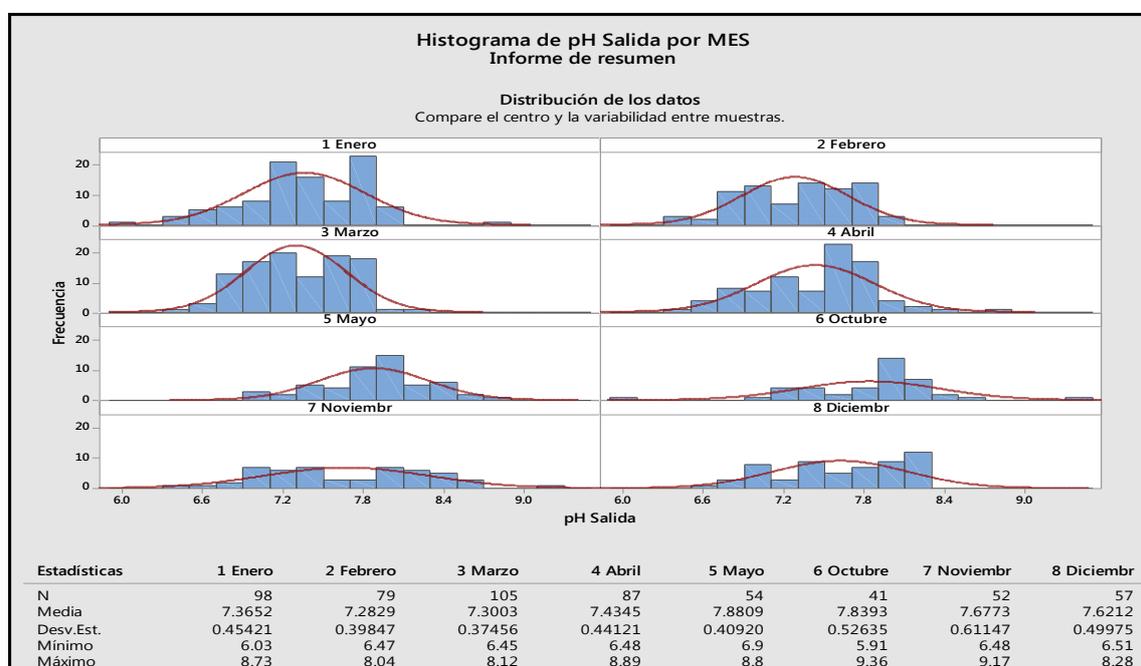


Figura 43 : Histograma de pH salida por mes

FUENTE: Datos de Monitoreo de campo – Compañía Minera Antamina (2005-2007)

Del Cuadro 21 y la figura 43, se advierte que la media más alta del pH de salida por mes obtenida, corresponde a mayo (7,8809), mes que coincide con el período estacional de sequías en la sierra; mientras que la media más baja obtenida fue en el mes de febrero (7,2829), mes que coincide con el período estacional de lluvias en la sierra (octubre - marzo).

El coeficiente de variación más alto registrado para el pH de salida mensual corresponde al mes de noviembre (7,96 por ciento); mientras que el valor más bajo de dicho coeficiente correspondió al mes de marzo (5,13 por ciento); dichos valores guardan relación con el período de estación de lluvias en la sierra.

Dado que el pH del agua natural de lluvia es ligeramente ácida, debido a la presencia en ella de dióxido de carbono atmosférico, el cual forma ácido carbónico (Bluhm G, J. Nuñez E, Valle S, Magallanes J. 2009) esto explica por qué durante los meses con mayor cantidad de precipitaciones (diciembre a abril) los valores de pH suelen ser más bajos y por lo tanto más ácido.

Otro factor que puede explicar los resultados y el comportamiento de los niveles de pH registrados es en lo que concierne al coagulante y floculante empleado, dado que el efecto de desestabilización y arrastre de partículas en suspensión ocasionado por estos compuestos se ve favorecido con el aumento de las precipitaciones.

4.3 RESULTADOS DE TURBIDEZ DE INGRESO Y SALIDA

4.3.1 TURBIDEZ DE INGRESO –MEDICION EN CAMPO

La distribución de los datos por intervalos de clase del histograma para la Turbidez de ingreso, se resume en el Cuadro 22. Este parámetro se midió en campo durante la colección de muestras para TSS.

Cuadro 22: Intervalos de clase y distribución de datos de Turbidez de Ingreso

ID	Intervalo de clase	N° de observaciones	Porcentaje	Porcentaje acumulado
1	0 - 25 NTU	327	57,07	57,07
2	25 – 75 NTU	168	29,32	86,39
3	75 – 125 NTU	39	6,81	93,20
4	125 – 175 NTU	18	3,14	96,34
5	175 – 225 NTU	7	1,22	97,56
6	>225NTU	14	2,44	100,00
	Total	573	100.00	100,00

NTU = Unidades Nefelométricas de Turbidez

FUENTE: Datos de monitoreo de campo- Compañía Minera Antamina (2005 – 2007)

Del Cuadro 22 se puede apreciar que la mayor concentración de datos de Turbidez de Ingreso ocurre en el intervalo de clase que va de 0 a 25 NTU (57,07 por ciento del total de datos), seguido por el IC comprendido entre 25 y 75 NTU (29,32 por ciento del total de datos). En la figura 44, se presenta el histograma de turbidez de ingreso

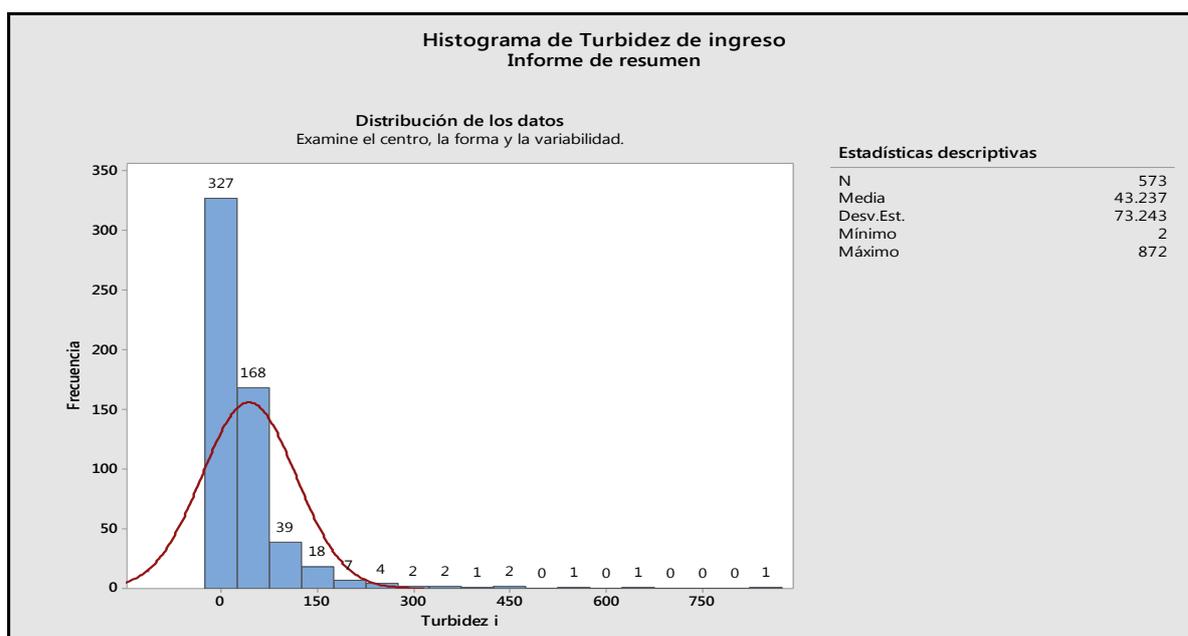


Figura 44 : Histograma de turbidez de ingreso

FUENTE: Datos de Monitoreo de campo – Compañía Minera Antamina (2005-2007)

Algunos datos de la distribución ubicados en los intervalos de clase superiores representan valores atípicos o poco usuales, las causas de estos valores están relacionadas al igual que en el caso del Total de sólidos suspendidos con factores tales como: Las precipitaciones pluviales ocurridas durante la toma de datos, la limpieza de canales y el movimiento de tierras.

4.3.2 TURBIDEZ DE SALIDA

Para el presente estudio se consideró el total de datos colectados en campo.

La distribución de los datos por intervalos de clase del histograma para la Turbidez de ingreso, se resume en el Cuadro 23.

Cuadro 23: Intervalos de clase y distribución de datos de Turbidez de Salida

ID	Intervalo de clase	N° de observaciones	Porcentaje	Porcentaje acumulado
1	0 - 2,5 NTU	43	7,50	7,50
2	2,5 - 7,5 NTU	208	36,30	43,80
3	7,5 - 12,5 NTU	126	21,99	65,79
4	12,5 - 17,5 NTU	68	11,87	77,66
5	17,5 - 22,5 NTU	48	8,38	86,04
6	22,5 - 27,5 NTU	23	4,01	90,05
7	27,5 - 32,5 NTU	18	3,14	93,19
8	32,5 - 37,5 NTU	12	2,09	95,29
9	>37,5 NTU	27	4,71	100,00
	Total	573	100,00	100,00

NTU = Unidades Nefelométricas de Turbidez

FUENTE: Datos de monitoreo de campo – Compañía Minera Antamina (2005 -2007)

En el Cuadro 23 se puede apreciar que la mayor concentración de datos de Turbidez de Salida ocurre en el intervalo de clase que va de 2,5 a 7,5 NTU (36,30 por ciento del total de datos), seguido por el IC comprendido entre 7,5 y 12,5 NTU (21,99 por ciento del total de datos). En la figura 43, se presenta el histograma de turbidez de salida.

Algunos datos de la distribución ubicados en los intervalos de clase superiores representan valores atípicos o poco usuales, las causas de estos valores están relacionadas al igual que en el caso del Total de sólidos suspendidos con factores tales como: Las precipitaciones pluviales (lluvias) ocurridas durante la toma de datos, la limpieza de canales, el movimiento de tierras y la instalación de drenajes horizontales para drenar el exceso de agua.

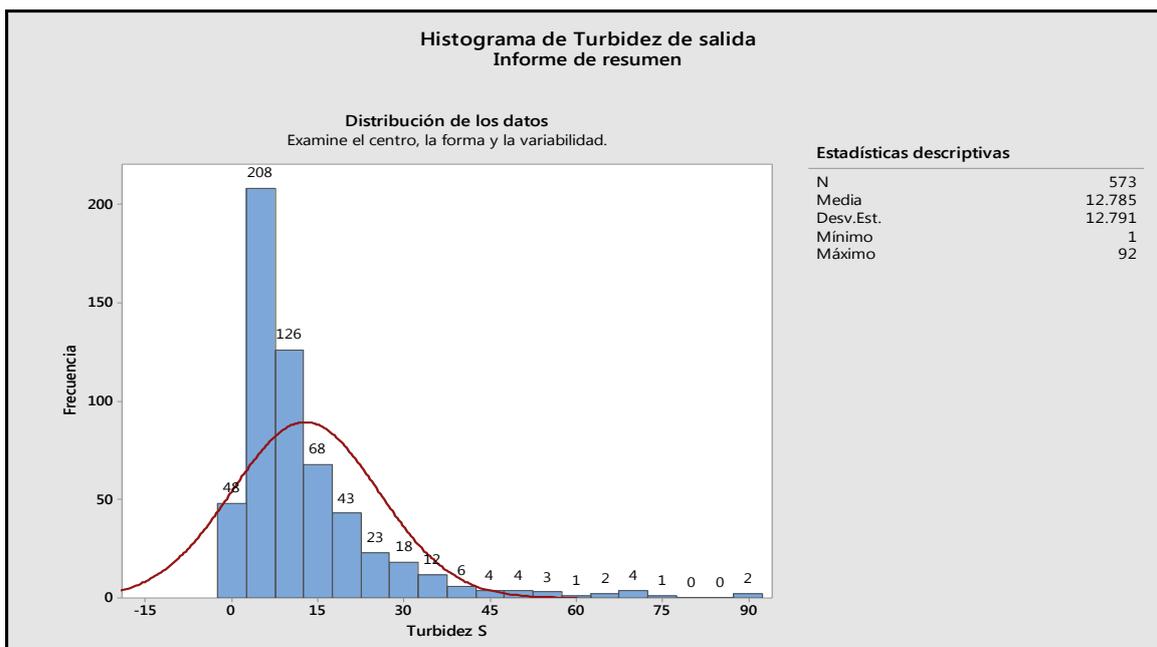


Figura 45 : Histograma de turbidez de salida

FUENTE: Datos de Monitoreo de campo – Compañía Minera Antamina (2005-2007)

4.3.3 COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE TURBIDEZ DE INGRESO Y TURBIDEZ DE SALIDA

En el Cuadro 24 se muestran los estadísticos descriptivos más importantes para la Turbidez de ingreso y de salida

Cuadro 24: Valores estadísticos obtenidos para turbidez de ingreso y salida

Variable	N	Media	Desviación estándar	Coficiente de variación	Mínimo (NTU)	Máximo (NTU)
Turbidez de Ingreso	573	43,24	73,24	169,40	2	872
Turbidez de Salida	573	12,785	12,791	100,05	1	92

NTU = Unidades Nefelométricas de Turbidez

FUENTE: Datos de Monitoreo de campo –Compañía Minera Antamina (2005 - 2007)

De acuerdo al Cuadro 24 se aprecia que el rango de distribución de datos para el caso de Turbidez de ingreso y salida es mayor en el primer caso (de 2 NTU a 872 NTU); los altos niveles de NTU indican la gran carga de partículas en suspensión o coloides (arcillas, limo, tierra finamente dividida, etcétera) (CEPIS, 2004).mientras para la salida es de 1 a 92 NTU.

Las medias obtenidas fueron para el caso del Turbidez de ingreso de 43,24 NTU y para la Turbidez de salida de 12,785 NTU. Significa que la reducción del nivel medio de la

Turbidez de ingreso hasta la salida, fue del orden de 70,43 por ciento, evidenciando resultados positivos en la aplicación de coagulantes y floculantes.

Las desviaciones estándar fueron de 73,24 y 12,791 respectivamente; mientras que los Coeficientes de Variación obtenidos son 169,40 por ciento y 100,05 por ciento respectivamente; es decir, el grado de dispersión de datos para el caso de la muestra de Turbidez de salida fue menor en relación a la muestra de Turbidez de ingreso en el orden del 41 por ciento, demostrando la eficiencia del sistema de tratamiento.

En el Cuadro 25 se muestra la distribución de datos de Turbidez de ingreso y salida.

Cuadro 25: Distribución de datos de Turbidez de Ingreso y Salida

Intervalo de clase (NTU)	N° de obs. (turbidez ingreso)	Porcentaje	Porcentaje acumulado	N° de obs. (turbidez salida)	Porcentaje	Porcentaje acumulado
0 – 12,5	184	32,11	32,11	382	66,67	66,67
12,5 – 37,5	213	37,17	69,28	164	28,62	95,29
37,5 – 62,5	74	12,91	82,19	18	3,14	98,43
62,5 - 87,5	42	7,33	89,52	7	1,22	99,65
87,5 – 112,5	12	2,09	91,61	2	0,35	100,00
112,5 – 137,5	15	2,62	94,23	0		
>137,5	33	5,77	100,00	0		
Total	573	100,00	100,00	573	100,00	100,00

NTU = Unidades Nefelométrica de Turbidez

FUENTE: Datos de Monitoreo de campo – Compañía Minera Antamina. (2005 – 2007)

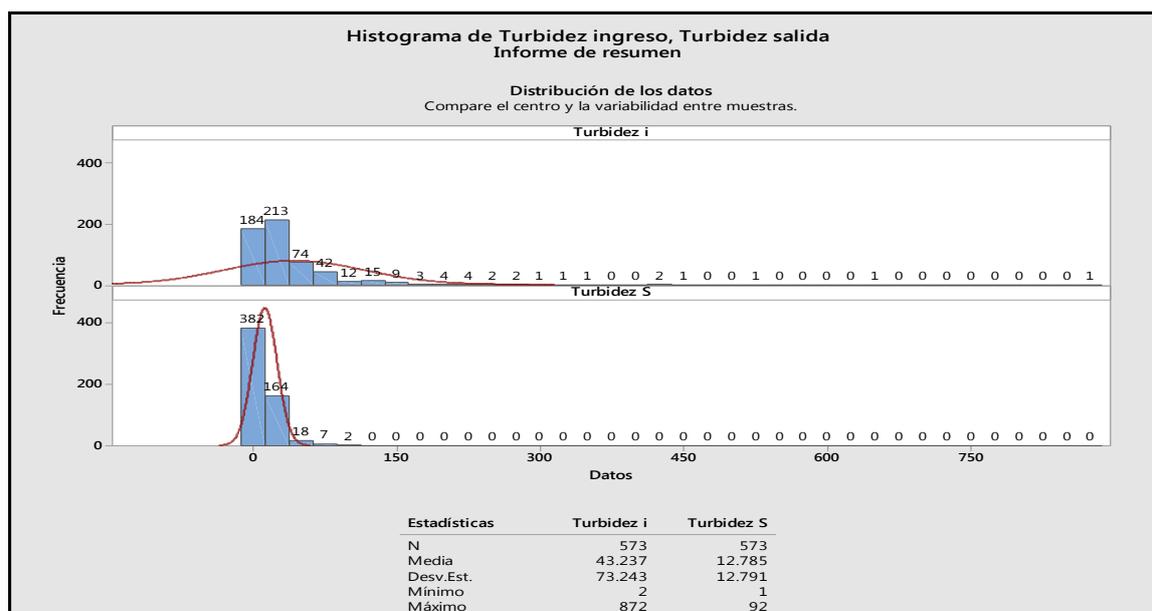


Figura 46 : Histograma de turbidez ingreso, turbidez salida

FUENTE: Datos de Monitoreo de campo – Compañía Minera Antamina (2005-2007)

En el Cuadro 25 se aprecia que la Turbidez de salida presenta una mayor concentración de datos tan sólo en el intervalo de clase comprendido entre 0 y 12,5 NTU, mientras que para la Turbidez de ingreso la concentración se reparte entre los IC que van de 0 a 12,5 NTU (32,11 por ciento) y de 12,5 a 37,5 NTU (37,17 por ciento). En la figura 46 se muestra el histograma del consolidado de turbidez de ingreso y turbidez de salida.

4.3.4 TURBIDEZ DE INGRESO POR AÑO

Los estadísticos descriptivos más relevantes de la distribución de datos de Turbidez de ingreso por año tales como la Media, desviación estándar se muestran a continuación:

Cuadro 26: Análisis comparativo de turbidez de ingreso por año

Año	N	Media	Desviación estándar	Coefficiente de variación (%)	Máximo (NTU)	Mínimo (NTU)
2005	333	46,40	77,12	166,21	650	3
2006	166	34,38	40,53	117,89	295	4
2007	74	48,90	105,00	214,74	872	2

NTU = Unidades Nefelométrica de Turbidez

FUENTE: Datos de Monitoreo de campo – Compañía Minera Antamina (2005 – 2007)

La mayor media obtenida por año para Turbidez de ingreso fue en el año 2007 (48,90 NTU); mientras que la menor correspondió al año 2006 (34,38 NTU). La mayor desviación estándar obtenida para la Turbidez de ingreso corresponde al año 2007 (105 NTU); mientras que la menor corresponde al año 2006 (40,53 NTU). El mayor coeficiente de variación obtenido para Turbidez de ingreso corresponde al año 2007 (214,74 por ciento); mientras que el menor coeficiente de variación corresponde al año 2006 (117,89 por ciento).

La distribución de datos de Turbidez de ingreso por año se resume el Cuadro 27 y Figura 47:

Cuadro 27: Análisis del histograma de turbidez de ingreso por años

I.C. (NTU)	N° Obs. turbidez ingreso 2005	Porcentaje	Porcentaje acumulado	N° Obs. Turbidez ingreso 2006	Porcentaje	Porcentaje acumulado	N° Obs. Turbidez ingreso 2007	Porcentaje	Porcentaje acumulado
0 – 25	189	56,76	56,76	99	59,64	59,64	39	52,70	52,70
25 – 75	97	29,13	85,89	49	29,52	89,16	22	29,73	82,43
75 – 125	18	5,41	91,30	10	6,02	95,18	11	14,87	97,30
125 – 175	12	3,60	94,90	6	3,62	98,80	0	0,00	97,30
175 – 225	6	1,80	96,70	1	0,60	99,40	0	0,00	97,30
>225	11	3,30	100,00	1	0,60	100,00	2	2,70	100,00
	333	100		166		100	74		100

I.C. = Intervalo de Clase

NTU = Unidades Nefelométrica de Turbidez

FUENTE: Datos de monitoreo de campo- Compañía Minera Antamina (2005–2007)

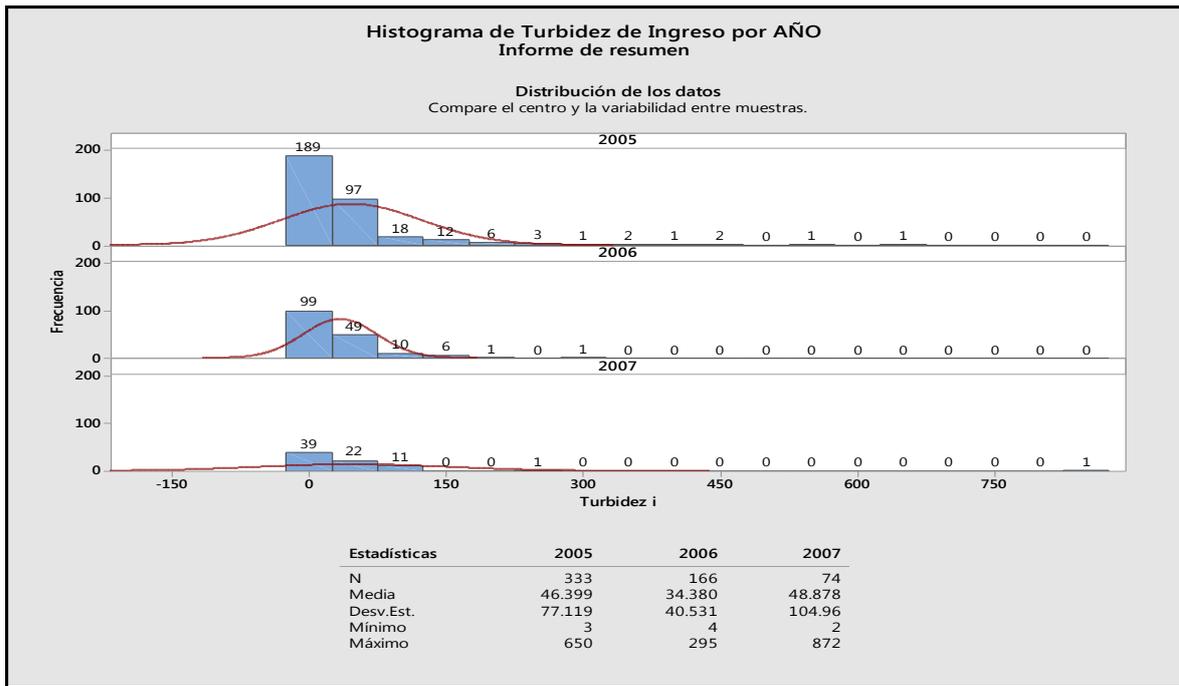


Figura 47 : Histograma de turbidez de ingreso por año

FUENTE: Datos de Monitoreo de campo – Compañía Minera Antamina (2005-2007)

L Cuadro 27 y Figura 47 se establece que:

- En el año 2005, la mayor concentración de datos de Turbidez de ingreso por año se obtiene en el intervalo de clase comprendido entre 0 y 25 NTU con un 56,76por ciento del total de datos.
- En el año 2006, la mayor concentración de datos de Turbidez de ingreso por año se obtiene igualmente en el intervalo de clase comprendido entre 0y 25 NTU con un 59,64por ciento del total de datos.
- En el año 2007, la mayor concentración de datos de Turbidez de ingreso por año se obtiene igualmente en el intervalo de clase comprendido entre 0 y 25 NTU con un 52,70por ciento del total de datos. Estos valores nos indican que el arrastre de coloides al sistema producido por la precipitación pluvial o actividad de mantenimiento y limpieza en los taludes no fue significativo.

Los estadísticos descriptivos más relevantes de la distribución de datos de Turbidez de salida por año tales como la Media, desviación estándar se muestran a continuación en el Cuadro 28:

Cuadro 28: Análisis comparativo de turbidez de salida por año

Año	N	Media	Desviación estándar	Coefficiente de Variación	Máximo (NTU)	Mínimo (NTU)
2005	333	11,5135	13,906	120,78	92	1
2006	166	13,500	10,787	79,90	57	2
2007	74	16,905	10,670	63,16	73	1

NTU = Unidades Nefelométrica de Turbidez

FUENTE: Datos de monitoreo de campo- Compañía Minera Antamina (2005-2007)

La Turbidez de salida por año, presenta los siguientes rangos o variabilidades totales:

- Para el año 2005: desde 1 a 92 NTU
- Para el año 2006: desde 2 a 57 NTU
- Para el año 2007: desde 1 a 73 NTU

La menor media obtenida por año para la Turbidez de salida fue de 11,5135 NTU para el año 2005; mientras que la mayor media obtenida corresponde al año 2007 con 16,905 NTU. Las desviaciones estándares obtenidas por año para la Turbidez de salida fluctuaron entre 10,67 NTU para el año 2007 y 13,906 NTU en el año 2005.

Los coeficientes de variación obtenidos por año para Turbidez de salida fueron de 120,78 por ciento para el año 2005, 79,90 por ciento para el año 2006 y 63,16 por ciento para el año 2007; es decir fue menor en este último respecto al 2005 y 2006. Esto se debe a que en el año 2007 los tratamientos implementados años antes ya se habían establecido, en especial la revegetación de los taludes de corte y relleno.

Cuadro 29: Análisis del histograma de turbidez de salida por año

I.C. (NTU)	N° Obs. Turbidez ingreso 2005	Porcentaje	Porcentaje acumulado	N° Obs. Turbidez ingreso 2006	Porcentaje	Porcentaje acumulado	N° Obs. Turbidez ingreso 2007	Porcentaje	Porcentaje acumulado
0 – 2,5	43	12,91	12,91	4	2,41	2,41	1	1,35	1,35
2,5 – 7,5	149	44,74	57,65	49	29,52	31,93	10	13,51	14,86
7,5 – 12,5	56	16,82	74,47	54	32,53	64,46	16	21,62	36,48
12,5 – 17,5	27	8,11	82,58	21	12,65	77,11	20	27,03	63,51
17,5 – 22,5	18	5,41	87,99	15	9,04	86,15	10	13,51	77,02
22,5 -27,5	11	3,30	91,29	6	3,61	89,76	6	8,11	85,13
>29,5	29	8,71	100,00	17	10,24	100,00	11	14,87	100,00
	333	100		166		100	74		100

FUENTE: Datos de monitoreo de campo – Compañía Minera Antamina (2005-2007)

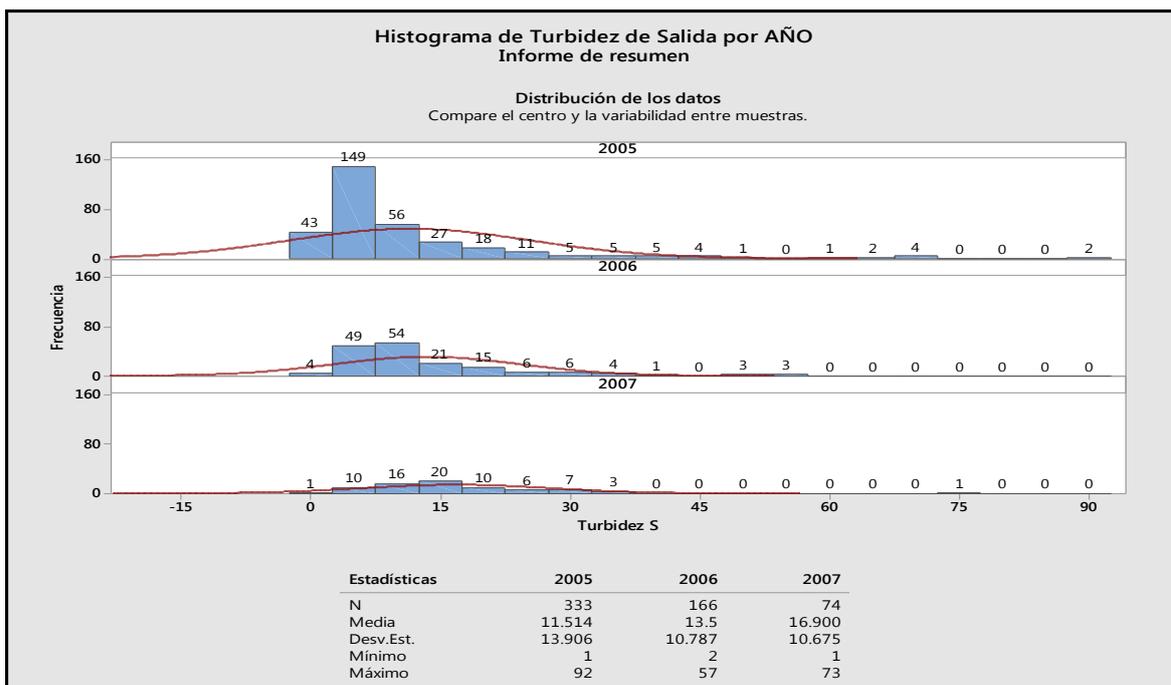


Figura 48: Histograma de turbidez de salida por año

FUENTE: Datos de Monitoreo de campo – Compañía Minera Antamina (2005-2007)

Del Cuadro 29 y la Figura 48 se establece lo siguiente:

- En el año 2005, la mayor concentración de datos de Turbidez de salida se obtiene en el intervalo de clase comprendido entre 2,5 y 7,5 NTU con un 44,74 por ciento del total de datos.
- En el año 2006, la mayor concentración de datos de Turbidez de salida se obtiene en el intervalo de clase comprendido entre 7,5 y 12,5 NTU con un 32,53 por ciento del total de datos.
- En el año 2007, la mayor concentración de datos de Turbidez de salida se obtiene en el intervalo de clase comprendido entre 12,5 y 17,5 NTU con un 27,03 por ciento del total de datos.

4.3.5 TURBIDEZ DE INGRESO POR MES

En el Cuadro 30 se puede apreciar los estadísticos descriptivos más resaltantes para el Total de Turbidez de Ingreso por meses.

Cuadro 30: Estadísticos descriptivos para turbidez de ingreso por meses

Mes	Nº observ.	Valor mínimo (NTU)	Valor máximo (NTU)	Media	Desviación estándar	Coficiente de variación
Enero	98	4	164	35,21	36,20	102,80
Febrero	79	4	295	32,97	53,34	161,76
Marzo	105	2	872	60,30	105,30	174,56
Abril	87	4	226	34,78	40,69	116,99
Mayo	54	3	256	22,93	44,41	193,72
Octubre	41	3	90	34,83	21,77	62,50
Noviembre	52	4	338	35,75	51,71	144,64
Diciembre	57	3	650	84,80	132,70	156,44

NTU = Unidades Nefelométrica de Turbidez

FUENTE: Datos de monitoreo de campo – Compañía Minera Antamina (2005-2007)

Del Cuadro 30 se advierte que las medias más altas de Turbidez de ingreso por meses registradas, corresponden a los meses de diciembre (84,80 NTU), seguido por el mes de marzo (60,30 NTU), meses que corresponden al período estacional de lluvias en la sierra.

Asimismo, el valor más bajo de las medias obtenidas para la Turbidez de ingreso por mes, corresponde al mes de mayo (22,93), mes que corresponde al período de sequía estacional en la sierra (mayo – setiembre).

El coeficiente de variación más alto registrado para la Turbidez de ingreso mensual corresponde al mes de mayo (193,72 por ciento); mientras que el valor más bajo de dicho coeficiente correspondió al mes de octubre (62,50 por ciento); dichos valores extremos guardan relación con el período de sequía.

Del análisis de los histogramas de Turbidez de ingreso por meses (Figura 47), se advierte que la media más alta registrada corresponde al mes de diciembre (84,80), mes que coincide con la estación de lluvias en la sierra (octubre – marzo). Por otra parte, el valor más bajo de las medias obtenidas para la turbidez de ingreso por meses, corresponde al mes de mayo (22,93) mes que coincide con el período de ausencia o escasez de lluvias en la sierra (abril - setiembre).

Algunos de los factores que pueden explicar los resultados y el comportamiento de los niveles de Turbidez de ingreso por meses registrados, es en lo que concierne a coagulante y floculante empleado, dado que el efecto de desestabilización y arrastre de partículas en suspensión ocasionado por estos compuestos se ve favorecido con el aumento de las precipitaciones.

4.3.6 TURBIDEZ DE SALIDA POR MES

En el Cuadro 31 se puede apreciar los estadísticos descriptivos más resaltantes para el Total de Turbidez de Salida por meses.

Cuadro 31: Estadísticos descriptivos para Turbidez de Salida por meses

Mes	N° observ.	Valor mínimo (NTU)	Valor máximo (NTU)	Media	Desviación estándar	Coficiente de variación
Enero	98	1	49	10,765	8,703	80,85
Feb.	79	1	69	14,86	13,76	92,59
Marzo	105	1	92	17,82	16,06	90,10
Abril	87	1	73	11,73	11,64	99,19
Mayo	54	1	32	6,315	5,65	89,47
Oct.	41	1	45	10,44	9,53	91,33
Nov.	52	2	71	10,48	10,85	103,52
Dic.	57	2	91	15,63	16,35	104,60

NTU = Unidades Nefelométrica de Turbidez

FUENTE: Datos de Monitoreo de campo – Compañía Minera Antamina (2005-2007)

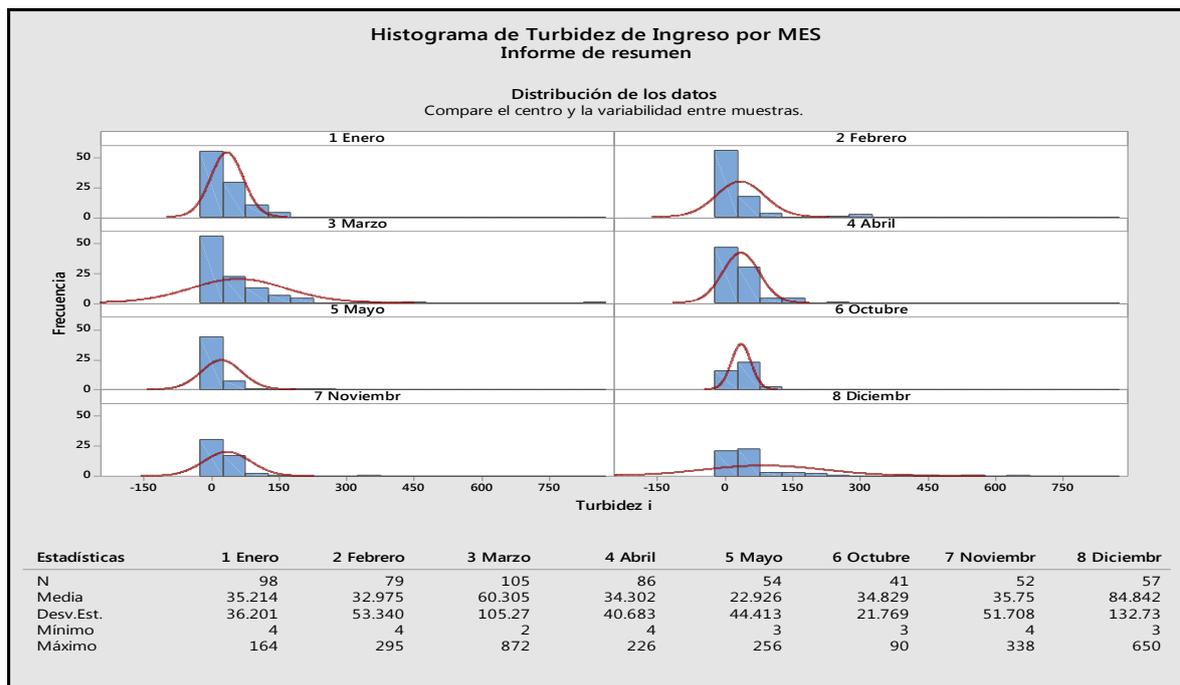


Figura 49 : Histograma de turbidez de ingreso por mes

FUENTE: Datos de Monitoreo de campo – Compañía Minera Antamina (2005-2007)

Del Cuadro 31 se advierte que la media más alta del TSS de salida por meses registradas, corresponde a marzo (17,82 NTU), mes que corresponden al período estacional de lluvias en la sierra. En la figura 49, se muestran los resultados del histograma de turbidez de salida por mes.

Asimismo, el valor más bajo de las medias obtenidas para el TSS de salida por meses, corresponde a mayo (6,315 NTU), mes que corresponde al período de sequía estacional en la sierra (mayo – setiembre)

El coeficiente de variación más alto registrado para el TSS de salida mensual corresponde al mes de diciembre (104,60 por ciento); mientras que el valor más bajo de dicho coeficiente correspondió al mes de enero (80,85 por ciento). Estos valores considerados como altos, están relacionados con la estación de lluvias en la zona de estudio.

Algunos de los factores que pueden explicar los resultados y el comportamiento de los niveles de Turbidez de salida por meses registrados es en lo que concierne a coagulante y floculante empleado, dado que el efecto de desestabilización y arrastre de partículas en suspensión ocasionado por estos compuestos se ve favorecido con el aumento de las precipitaciones.

4.3.7 PONDERACION CUALITATIVA DE TRATAMIENTOS- RESULTADOS

En el Cuadro 32 se pueden observar los resultados obtenidos después de la aplicación de la metodología de Likert, mencionada en el acápite 6.6.

Cuadro 32: Ponderación cualitativa de las actividades de control de erosión para la laguna Canrash

Item	Revegetación manual	Hidrosiembra	Floculantes y coagulantes	Pozas de sedimentación	Berma llorona (weep berm)
Costo de instalación	1	3	3	3	3
Costo de operación	1	2	3	1	2
Volumen de equipo a transportar/Instalar	2	3	3	3	3
Personal requerido	3	1	1	3	2
Tiempo de instalación	3	2	3	2	3
Disponibilidad en Perú	1	3	3	1	3
Supervisión	3	3	3	3	1
TOTAL	14	17	19	16	17

Del Cuadro 32 podemos determinar que la revegetación manual ha obtenido la menor ponderación debido a sus bajos costos, disponibilidad de personal, y facilidades para su implementación en campo, considerándose la actividad más efectiva para evitar problemas de erosión a largo plazo. Mientras que el uso de coagulantes y floculantes presenta la ponderación más alta debido a que su implementación requiere de mayores recursos logísticos para su transporte, trámites administrativos específicos en el caso de desaduanaje, así como implementación de instalaciones especiales para su uso.

Por otro lado, la zanja de lagrimeo, hidrosiembra y pozas de sedimentación obtuvieron ponderaciones similares debido a sus altos costos de instalación y puesta en marcha. Mientras que la hidrosiembra requiere de supervisión permanente para su implementación pero disminuye al momento de prendimiento en terreno. Las otras actividades si demandan mayor tiempo de supervisión durante todo su proceso.

V. CONCLUSIONES

1. El paquete de técnicas empleadas para reducir el ingreso de sedimentos en la laguna Canrash, habiendo rehabilitado los taludes fueron efectivos.
2. De los paquetes tecnológicos empleados, el más efectivo en el tiempo y de menor costo es la revegetación.
3. Los métodos de restauración empleados son efectivos para la restauración de taludes disturbados por la actividad de construcción de carreteras.
4. La cobertura vegetal instalada en las áreas de trabajo resultó ser eficiente en la reducción de la escorrentía superficial.
5. La estabilización de taludes es una condición indispensable y previa a las actividades de establecimiento de vegetación. (muros de contención en cárcavas y áreas inestables, zanjas, diques, pozas de sedimentación, perforaciones horizontales, hidrosiembra y tendido de geomantas).
6. El paquete de técnicas empleadas no tiene implicancia en la acidez (pH) de agua.
7. El uso de floculantes y coagulantes en la reducción de sedimentos constituyeron las medidas con mayores costos y requerimientos logísticos para su implementación.

VI. RECOMENDACIONES

Se recomienda llevar a cabo evaluaciones geológicas y geotécnicas durante desde la fase de prospección y pre factibilidad en el diseño de vías para establecer la estabilidad y tipo de material más idóneo para establecer el trazo de las vías.

De acuerdo con los resultados de la aplicación del paquete de técnicas utilizadas. Este puede ser replicado en otras obras de construcción de accesos sobre taludes. Teniendo en cuenta la evaluación previa a fin de definir y priorizar cuales medidas son las más eficientes en la estabilización de taludes y el establecimiento de la vegetación

Tanto en situaciones donde la perturbación ya ha sido hecha, como en el diseño de proyectos de construcción de vías. Se recomienda considerar la posibilidad de instalación de medidas de control de erosión tales como pozas, diques, zanjas de lagrimeo y limpieza oportuna de sedimentos para disminuir el ingreso de sedimentos a los cuerpos de agua a proteger o rehabilitar.

La vegetación a instalar en los taludes debe hacerse con un máximo de 1 mes antes del inicio del periodo de lluvias a fin de que el régimen de lluvias contribuya oportunamente con el crecimiento de la cobertura vegetal. Adicionalmente es recomendable hacer parcelas de muestreo de vegetación (sometidas al mismo régimen hídrico) para identificar las especies más recomendables (adaptables y de más rápido crecimiento). Las especies locales deben tener prioridad.

Se recomienda que en los proyectos de construcción de vías, se considere a un especialista en control de erosión y sedimentos desde la fase de diseño. Este podrá proponer medidas preventivas de control que permitan optimizar costos. En el caso estudiado todas las actividades se realizaron como medidas de contingencia posterior a la apertura de la vía y la perturbación ocasionada. El especialista en una situación ideal. Inicia la propuesta considerando las medidas de menor costo y otras más costosas sólo si es estrictamente necesario.

Desarrollar guías metodológicas para el control de erosión durante el desarrollo de distintas actividades, en especial las extractivas. Esto permitiría la optimización de recursos y un mejor seguimiento y control de dichas actividades.

Es recomendable que la mano de obra no calificada esté formada por individuos de la localidad en que se encuentren los trabajos. En las zonas altoandinas, los trabajadores tienen experiencia ancestral en trabajos de campo relacionados al control de erosión. Como por ejemplo: Enrocados, canales, pozas, diques, siembra manual, métodos de propagación de especies locales, entre otros.

VII. BIBLIOGRAFIA

ALVA HURTADO, JE. 1994. Notas sobre análisis de estabilidad de taludes (en línea). Lima, Perú. Consultado 5 oct. 2016. Disponible en http://www.jorgealvahurtado.com/files/labgeo02_a.pdf

ANDÍA CÁRDENAS, Y. 2000. Tratamiento de agua: coagulación floculación evaluación de plantas y desarrollo tecnológico (en línea). Lima, Perú. 44 p. Consultado 12 oct. 2017. Disponible en http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154

BARRERA CATAÑO, JI; CONTRERAS RODRÍGUEZ, SM; GARZÓN YEPES, NV; MORENO CÁRDENAS, AC; MONTOYA VILLAREAL, SP. 2010. Manual para la restauración ecológica de los ecosistemas disturbados del distrito capital. 1 ed. Secretaría Distrital de Ambiente (SDA), Pontificia Universidad Javeriana (PUJ). Bogotá, Colombia. 402 p.

BARRIO DEL CASTILLO, I; GONZÁLES JIMÉNEZ, J; PANDÍN MORENO, L; SÁNCHEZ MOHEDANO, I; TARÍN LÓPEZ, E. s. f. El estudio de casos (en línea). Madrid, España. 16 p. Consultado 15 oct. 2017. Disponible en https://www.uam.es/personal_pdi/stmaria/jmurillo/InvestigacionEE/Presentaciones/Est_Casos_doc.pdf

BLUHM GUTIÉRREZ, JORGEA; NÚÑEZ E; VALLE S; AGUIRRE C; Magallanes J. 2009 Aspectos de la medición del pH del agua de lluvia (Conference Paper). En Conference □ Coloquio de Investigación de la UAZ, 2009. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/291166684_Aspectos_de_la_medicion_del_pH_del_agua_de_lluvia

BROWN, GW. 1983. Forestry and Water Quality. 2 ed. Corvallis, USA, Oregon State University Book Stores, Inc. 142 p.

CEPIS (Centro panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del ambiente); OPS (Organización Panamericana de la Salud). 2004. Manual I: teoría, tomo I, Tratamiento de agua para consumo humano, plantas de filtración rápido. Cánepa de Vargas, L. Lima, Perú. 597 p.

CHOI, YD; TEMPERTON, VM; GROOTJANS, AP; HALASSY, M; HOBBS, RJ; NAETH, MA; TOROK, K. 2008. Ecological restoration for future sustainability in a changing environment. *Ecoscience* 15(1):53-64

DECRETO SUPREMO N.º 016-93-EM, 1993. Reglamento para la protección ambiental en las actividades minero metalúrgicas. *Diario Oficial El Peruano*. 28 abr.

DECRETO SUPREMO n.º 020-2008-EM, 2008. Aprueban reglamento ambiental para las actividades de exploración minera. *Diario Oficial El Peruano*. 2 abr.

DECRETO SUPREMO n.º 167-2008-MEM/DM, 2008. Aprueban términos de referencia comunes para las actividades de exploración minera categorías I y II, conforme a los cuales los titulares mineros deberán presentar la declaración de impacto ambiental y el estudio de impacto ambiental semi detallado, así como ficha resumen de proyecto y normas para la apertura y manejo de trincheras y calicatas. *Diario Oficial El Peruano*. 10 abr.

DECRETO SUPREMO n.º 010-2010 MINAM, 2010. Aprueban límites máximos permisibles para las descargas de efluentes líquidos de actividades minero metalúrgicas. *Diario Oficial El Peruano*. 21 ago.

DURÁN, VH.; MARTINEZ-RAYA, A; AGUILAR, J. 2002. Control de la erosión en los taludes de bancales, en terrenos con fuertes pendientes. *Edafología* 9(1):1-10

ENRÍQUEZ DE SALAMANCA, A; CARRASCO, MJ; VARELA, JM. 200. Seguimiento de la eficacia de restauración vegetal de los taludes de autovías. *Ingeniería civil* 134:27-36
FOTH, HD. 1985. Fundamentos de la ciencia del suelo. 3 ed. en español de la 6 ed. en inglés. Marino, A (trad.). México, editorial Continental. 433 p.

GOLDER, A; 2007. Estudio de impacto ambiental proyecto de expansión del tajo abierto y optimización del procesamiento. Lima, Perú, 55 p. Informe 069-4217. Solo resumen. Disponible en <https://es.scribd.com/document/99229977/Eia-Minera-Antamina-2006>

GOMIS, CJ. 1996. Experiencias en bioingeniería implementando el uso del vetiver (*Vetiveria zizanioides*, (L) Nash) en diferentes localidades de Venezuela (en línea). Caracas, Venezuela. Consultado 25 de oct. 2017. Disponible en <http://www.vetiver.org/ICV4pdfs/BA12es.pdf>

GUTIERREZ, TA; 2015. Impactos mineros, agropecuarios y de la conservación en la calidad del agua y los sedimentos, cuenca Tambopata, Madre de Dios. Tesis Ing. Forestal. Lima, Perú, UNALM. 93 p

INSHT. 1982. Construcción de una escala de actitudes tipo Likert. NT 15. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales. Barcelona. España. 5p

JORBA, E; VALLEJO, R. 2008. La restauración ecológica de canteras: un caso de aplicación con enmiendas orgánicas y riegos. Ecosistemas, revista científica y técnica de ecología y medio ambiente 17(3):119-132

KLOHN CRIPPEN; SVS Ingenieros Consultores. 1998. Estudio de impacto ambiental compañía minera Antamina. Lima, Perú. Solo resumen

LEXICOON. 2016. Diccionario español (en línea). Consultado 10 de ago. 2017. Disponible en <http://lexicoon.org/>

LÓPEZ JIMENO, C. 2008. Manual de estabilización y revegetación de taludes. 3 ed. Editorial entorno gráfico, SL. 704 p.

MALAVE, N. 2007. Trabajo modelo para enfoques de investigación acción participativa programas nacionales de formación. Escala tipo Likert. Ministerio de Educación Universitario. Instituto universitario de tecnología Jacinto Navarro. Vallenilla Universidad Politécnica Experimental de Paria. Maturin. Venezuela. Disponible en <http://uptparia.edu.ve/documentos/F%C3%ADsico%20de%20Escala%20Likert.pdf>. Consultado el 20.12.2018. 16p.

MINAM. 2010. Compendio de la legislación ambiental peruana: Calidad ambiental. 1 ed. Lima, Perú, dirección general de políticas, normas e instrumentos de gestión ambiental del Ministerio del Ambiente. 874 p.

MINERA YANACOCCHA-MEDIO AMBIENTE. 2005. Manual para el control de sedimentos en Minera Yanacocha S.R.L. Cajamarca, Perú. 80 p.

PÉREZ, FARRAS LE. 2005. Instituto de ingeniería sanitaria y ambiental, área hidráulica, cátedra de hidráulica aplicada a ingeniería sanitaria, teoría de la sedimentación, (en línea). Buenos Aires, Argentina. Consultado 05 de set. 2017. Disponible en http://www.fi.uba.ar/archivos/institutos_teor%C3%ADa_sedimentacion.pdf

PRACH, K. 2003. Spontaneous succession in Central -European man-made habitats: What information can be used in restoration practice? Applied Vegetation Science. Conservation, restoration and survey of plant communities 6(2):125-129.

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS. RESOLUCIÓN MINISTERIAL n.º 011-96-EM/VMM, 1996. Aprueban los niveles máximos permisibles para efluentes líquidos minero-metalúrgicos. Diario Oficial El Peruano.13 ene.

SÁNCHEZ LAVADO, F.2007. Tratamientos combinados físico-químicos y de oxidación para la depuración de aguas residuales de la industria corchera. Tesis Ph.D. Badahoz, España, UNEX. 708 p.

SCHLUMBERGER. 2017. Oilfield Glossary (en línea). Consultado 18 de Abr. 2017. Disponible en <http://www.glossary.oilfield.slb.com/es.aspx>

TORMO, J; BOCHET, E; GARCÍA-FAYOS, P. 2009. Restauración y vegetación de taludes de carreteras en ambientes mediterráneos semiáridos: procesos edáficos determinantes para el éxito. Ecosistemas Revista Científica de Ecología y Medio Ambiente 18(2):79-90.

THOMPSON, J; SATTAR, A; GHARABAGHI, B; WARNER, RC. 2016. Event-based total suspended sediment particle size distribution model. Journal of Hydrology 536(1):236-246.

DPTO MEDIO AMBIENTE, COMPAÑÍA MINERA ANTAMINA. 2006. Plan de Monitoreo Ambiental. 2006. pág. 74.

.

VIII. ANEXOS

ANEXO 1 : OTROS ASPECTOS IMPORTANTES

Vegetación y fertilidad:

El establecimiento de la vegetación se logró haciendo una evaluación de especies ya utilizadas en la remediación de áreas degradadas en otras zonas con similares características edafológicas y usando especies como *Lupinus* sp. La cual es tolerable a niveles bajos de materia orgánica disponible y al no ser palatable para el ganado, se evita la pérdida de especímenes.

Las demás especies utilizadas (pastos nativos como *Calamagrostis*, y otros introducidos como *Lolium perenne*, *Dactylis glomerata* y *Festuca arundinacea*. Fueron eficientes en el establecimiento de cobertura vegetal. Logrando un porcentaje de cobertura mínimo del 70 por ciento. La plantación de *Polylepis racemosa* (Quinual) fue considerada una medida para mejorar la estabilidad de los taludes y la disponibilidad hídrica a largo plazo.

Estabilización física.

Hidrosiembra:

El uso de la técnica de hidrosiembra demostró ser de mayor relevancia en los taludes que estaban expuestos, previamente estabilizados y sin cobertura vegetal. Esta técnica permitió la siembra en menor tiempo y la posibilidad de agregar fertilizante, mulch y adherente junto con las semillas. De tal manera que se acelere la germinación para obtener cobertura vegetal antes del periodo de lluvias.

Costos:

La revegetación manual ha obtenido la menor ponderación debido a sus bajos costos (bajo costo de la mano de obra), disponibilidad de personal, y facilidades para su implementación en campo, mientras que el uso de coagulantes y floculantes presenta la ponderación más alta debido a que su implementación requiere de trámites en aduanas, envío con transporte pesado e instalaciones especiales para su uso. Además de su costo de

aplicación. Ya que costo por carga de 66 litros es de 388 usd. Habiéndose usado 235 cargas. El costo total asciende a 91,180.00 usd

La zanja de lagrimeo, y pozas de sedimentación significan altos costos de instalación y puesta en marcha. Sólo el diseño e instalación de esta tuvo un costo de 75,000 usd, sin incluir los costos de capacitación y supervisión.

La hidrosiembra requiere de operadores especializados y supervisión permanente para su implementación. Sin embargo se logra obtener la mitad del tiempo de germinación de semillas. El costo total de aplicación de hidrosiembra para el tramo afectado fue de 170,000.00 usd.

ANEXO 2 : ESQUEMA DE UN WEEP BERM (BERMA LLORONA)

