CONTROL DE EROSIÓN DURANTE LA CONSTRUCCION DE PROYECTOS MINEROS- ESTUDIO DE CASO

EROSION CONTROL DURING THE MINE PROJECTS CONSTRUCTION - CASE STUDY

https://doi.org/10.52109/cyp2021111

José Portocarrero, Carlos Reynel²

- ¹ Magister, Profesor visitante de la Universidad Nacional Agraria La Molina
- ² Doctor, profesor principal de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria La Molina

REGISTROS

Recibido el 15/08/2020 Aceptado el 30/09/2020 Publicado el 31/01/2021



PALABRAS CLAVE

Erosión, Floculantes, revegetación, mallas geo sintéticas, berma de drenaje

KEYWORDS

Erosion, flocculants, revegetation, synthetic geo meshes, weep berm

RESUMEN

El presente artículo muestra el estudio de caso sobre los trabajos de control de erosión y estabilidad superficial de suelos llevado a cabo durante las actividades de operación de la carretera Conococha Antamina, específicamente en el tramo comprendido en los km 92 y 97, lugar donde se ubica la laguna Canrash. El estudio se llevó a cabo con la data de los años 2005 al 2007. La Compañía Minera Antamina, implemento los distintos controles físicos tales como uso de muros de roca, mallas geo sintéticas, canales de derivación de aguas, berma de asentamiento y pozas de sedimentación; químicos con el uso de floculantes y coagulantes; biológicos, como la siembra manual e hidrosiembra para evitar que los sedimentos generados por el arrastre de la escorrentía superficial afecten la calidad del agua de la laguna. La eficiencia de estos sistemas de control, se midieron mediante el Total de Solidos Suspendidos (TSS) al ingreso como a la salida del sistema donde debía estar por debajo de 50mg/l de acuerdo con la normativa vigente. Los resultados mostraron una reducción en los niveles de TSS a la salida del sistema durante los años 2005, 2006 y 2007, los cuales en promedio se redujeron de 21.88 a 5.76 mg/l el 2005; de 19.60 a 6.95 mg/l el 2006 y de 40.84 a 10.52 mg/l, demostrando la eficiencia de los sistemas empleados Palabras clave: Erosión, floculantes hidrosiembra, berma de asentamiento, mallas geo sintéticas, 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.

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.

El presente artículo es basado en un estudio de caso. 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 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.

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).

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 agrotextiles, canales de derivación de aguas entre otros. En cuanto al control químico se tiene el uso de floculantes y coagulantes. Éste trabajo, tiene como objetivo general, contribuir al conocimiento de las técnicas físicas, químicas, y biológicas de control de erosión para proyectos

MATERIALES Y MÉTODOS

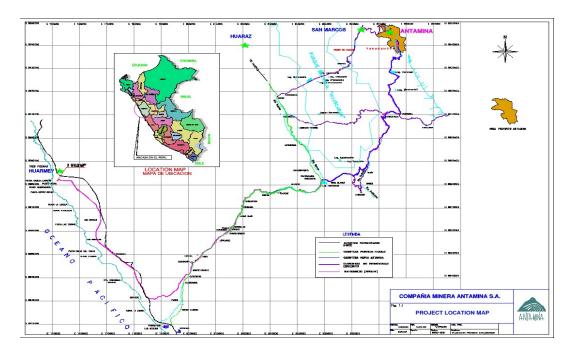
Ubicación y descripción del área de estudio

mineros que requieran movimiento de tierras.

El área de estudio está ubicada el distrito de San Marcos, en la provincia de Huari, Ancash. 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 este 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 Fig. 1 se muestra la ubicación del área de estudio (Antamina, 1998).

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



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, proporciono 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

Métodos

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.

Controles físicos

Muros de roca: Se construyeron muros de roca especialmente en los taludes de relleno. El objetivo de estos fue facilitar la estabilidad superficial en los taludes y

disminuir la velocidad de escorrentía producida por las lluvias y permitir el paso del agua de manera que evite la erosión en la zona.

En la Fig. 2, se observa un muro de roca ubicado en una plataforma del talud de relleno en el km 94 de la laguna Canrash. El muro fue instalado siguiendo la topografía del terreno.

Figura 2

Muro de roca instalado en el talud de relleno laguna Canrash km 94, año 2005



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, Dactilys 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 Figs. 3 y 4 se muestra el prendimiento de la vegetación.

Figura 3

Prendimiento de vegetación (Lupinus sp). Sector Canrash km 94



Figura 4

Prendimiento de vegetación (pastos). Sector Canrash km 94



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, ver Fig. 5. 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 con el volumen de agua generado, que en promedio era de 6 lts/s durante la época de lluvias siendo la velocidad del agua de 0.4m/s. Para mejorar su capacidad de retención se procedió a dividir la poza de sedimentos principal en el kilómetro km 94, de tal manera que se disminuya la velocidad de arrastre de los sedimentos aumente el tiempo de retención mejorando la capacidad del sistema. En la Fig. 6 se muestra la instalación de biomantas en el talud de relleno del km 94 la cual cubría un aproximado de 1.5 Has de la superficie total revegetada que fue de 12.1 Has. Asimismo, en el km 97 se instaló una berma de drenaje (weep berm), a la salida del sistema de pozas de sedimentación para mejorar su eficiencia tal como se muestra en las Figs. 8, 9 y 10.

Figura 5
Sistema de sedimentación en la laguna de Canrash (km 94)



Figura 6
Biomantos sobre Talud de laguna Canrash km 94

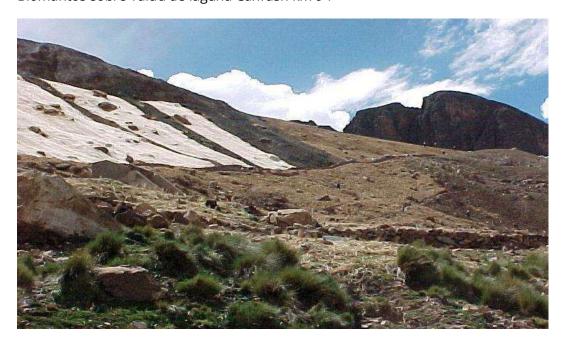


Figura 7

Enkamat (geomalla) sosteniendo siembra de pastos en Talud de laguna Canrash Km 94



Figura 8

Zanja de drenaje (Weep berm) en el km 97



Figura 9

Esquema de pozas de sedimentación y berma de drenaje (Weep Berm)

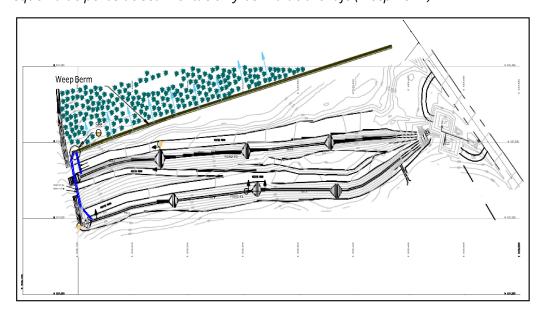


Figura 10

Tubería de salida hacia el pasto- Zanja de drenaje (Weep berm) km 97



Floculantes y coagulantes: Debido al tamaño de partículas de los sedimentos (menores a 10 micras), se probaron distintos tipos de floculantes y coagulantes para mejorar la eficiencia de las pozas de sedimentación. Se utilizaron el coagulante Raifloc 3490 y el floculante Raifloc 8362. Primero se vertía el coagulante al canal de ingreso al sistema de pozas y 50 metros después se vertía el floculante sobre el mismo canal. En las Figs. 11 y 12 se muestran los sistemas de floculación y coagulación

Figura 11

Adición de floculantes y coagulantes en el canal de ingreso a pozas de sedimentación (antes de la construcción de casetas).



Figura 12

Caseta para floculantes y coagulantes culminada.



RESULTADOS

Precipitación

Los datos de precipitación para los años 2005, 2006 y 2007 se muestran en las Figs. 12, 13 y 14 se observa que la mayor precipitación pluvial corresponde a los meses de lluvia (diciembre a marzo), registrándose como mes de mayor precipitación a enero de 2006 con 281mm. La mayor precipitación está relacionada con mayor escorrentía y generación de sedimentos.

Figura 13

Precipitación pluvial del sector Canrash, año 2005

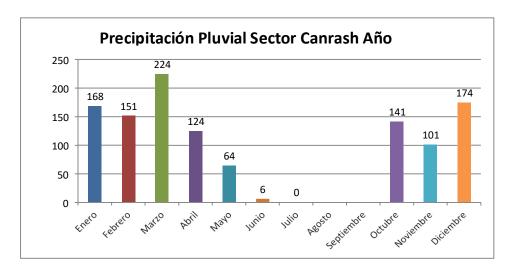


Figura 14

Precipitación pluvial del sector Canrash, año 2006.

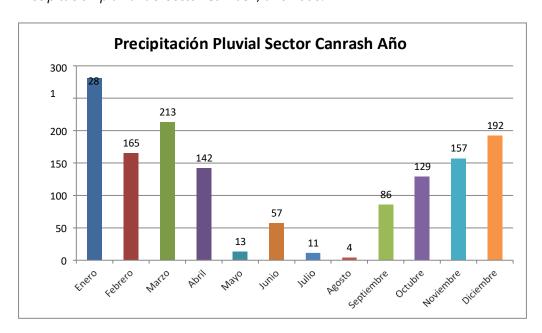
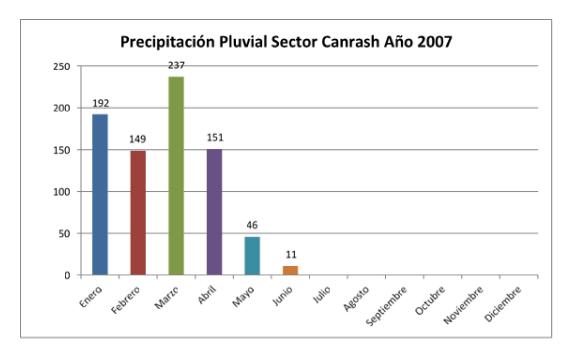


Figura 15

Precipitación pluvial del sector Canrash, año 2007.



A partir de julio de 2007 no se prosiguió con la recolección de información debido a que el área ya se había estabilizado geotecnicamente y no era necesario continuar con los trabajos de control de erosión.

Total, de solidos suspendidos TSS

Se tomaron muestras de TSS al ingreso del sistema de controles de erosión ubicado en la alcantarilla que recolectaba la escorrentía de los taludes de corte y relleno de la carretera de acceso y a la salida de este (Descarga hacia la laguna Canrash). La toma de muestras al ingreso indicó la calidad del agua antes del ingreso al sistema, como se muestra en el cuadro 1, se observó mucha variabilidad en la data de ingreso, mayor al 100% en los 3 años considerados. Esto debido a la variación en las precipitaciones, a los trabajos de mantenimiento en la carretera y al tipo de sedimentos con gran contenido de partículas finas que dificultaban su sedimentación.

La variabilidad a la salida del sistema fue menor al 100%, lo cual demuestra que los controles aplicados para reducir el ingreso de sedimentos a la laguna Canrash fueron efectivos. En el cuadro 2 podemos observar la mejora en los niveles de variabilidad, así como los datos se encuentran en promedio dentro del valor de Límite Máximo permisible (LMP) de 50 mg/l señalado por la normativa peruana.

Tabla 1 Total de Solidos Suspendidos (TSS) al ingreso del sistema – Laguna Canrash. 2005, 2006 y 2007

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

Tabla 2 Total de solidos suspendidos (TSS) a la salida del sistema- Laguna Canrash 2005, 2006 y 2007.

Año	N	Media	Desviación estándar	Coeficiente de variación (%)	Valor Máximo	Valor Mínimo	LMP
2005	333	5,7598	5,5338	96,08	37	1	50
2006	166	6,9578	6,8864	98,97	69	1	50
2007	74	10,527	5,9547	56,57	36	5	50

рΗ

Los valores de pH no presentaron variabilidad tanto al ingreso como a la salida del sistema durante los años 2005, 2006 y 2007, lo cual indica que la aplicación de floculantes en el agua no ha afectado los niveles de este.

Tabla 3 Niveles de pH al ingreso del sistema- Laguna Canrash 2005, 2006 y 2007

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

Tabla 4

Niveles de pH a la salida del sistema- Laguna Canrash- 2005, 2006 y 2007

-	∖ño	N	Media	Desviación estándar	Coeficiente de variación (%)	Valor Máximo	Valor Mínimo	LMP
2	005	333	7,6255	0,50213	6,58	9,36	5,91	6-9
2	006	166	7,3993	0,40918	5,53	8,73	6,48	6-9
2	007	74	7,0743	0,37301	5,27	7,89	6,03	6-9

Ponderación cualitativa de los tratamientos efectuados en campo

Se realizó una ponderación cualitativa en base a costos, implementación en campo, disponibilidad en el Perú, personal y supervisión requeridos para su funcionamiento. La ponderación fue de la siguiente manera:

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

Tabla 5

Ponderación cualitativa de las actividades de control de erosión en la laguna Canrash.

Ítem	Revegetación manual	Hidrosiembra	Floculantes y coagulantes	Pozas de sedimentación	Berma de drenaje (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 5, 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, mientras que el uso de coagulantes y floculantes presenta la ponderación más alta debido a que su implementación requiere de mayor esfuerzo logístico al requerir trámites en aduanas, envío del producto mediante transporte pesado y construcción de instalaciones especiales para su uso en campo, lo cual demanda realizar un diseño de ingeniería para el sistema de almacenamiento y dosificación.

Por otro lado, la zanja de drenaje, hidrosiembra y pozas de sedimentación obtuvieron ponderaciones similares debido a sus altos costos de instalación y puesta en marcha. Mientras la hidrosiembra requiere de supervisión permanente para su implementación, pero esta disminuye una vez que el material vegetal logra su prendimiento en terreno.

Las pozas de sedimentación y zanjas de drenaje tienen actividades que demandan mayor tiempo de supervisión durante todo su proceso, tal como la limpieza de las pozas y reparaciones que sean necesarias realizar para su óptimo funcionamiento.

CONCLUSIONES

El paquete de técnicas empleadas para reducir el ingreso de sedimentos en la laguna Canrash, habiendo rehabilitado los taludes fue efectivo.

- De los paquetes tecnológicos empleados, el más efectivo en el tiempo y de menor costo es la revegetación.
- Los métodos de restauración empleados son efectivos para la restauración de taludes disturbados por la actividad de construcción de carreteras.
- La cobertura vegetal instalada en las áreas de trabajo resultó ser eficiente en la reducción de la generación de sedimentos en la superficie del talud.
- 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).
- El paquete de técnicas empleadas no tiene implicancia en la acidez (pH) de agua.
- El uso de floculantes y coagulantes en la reducción de sedimentos constituyeron las medidas con mayores costos y requerimientos logísticos para su implementación.

REFERENCIAS

- 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. p. 402.
- 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/Present aciones/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_p H_del_agua_de_lluvia

ISSN: 2710-2408

- 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 semidetallado, 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 minerometalúrgicas. 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
- 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 participativas programas nacionales de formación. Escala tipo Likert. Ministerio de Educación Universitario. Instituto universitario de tecnología Jacinto Navarro. Vallenilla Universidad Politécnica Experimental de Paria. Maturín. Venezuela. Disponible en http://uptparia.edu.ve/documentos/F%C3%ADsico%20de%20Escala%20Like rt.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 Yanacocha-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_teoria_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 minerometalúrgicos. Diario Oficial El Peruano.13 ene.
- Sánchez Lavado, F.2007. Tratamientos combinados fisicoquímicos 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 Hidrology 536(1):236-246.
- Departamento de Medio Ambiente, Compañia Minera Antamina. 2006. Plan de Monitoreo Ambiental. 2006. pág. 74.