

ANEXO 1. FACTORES FÍSICOS

1 Línea base física

1.0 Lineamientos generales

1.0.1 Alcance

Como parte de la línea base se debe caracterizar los componentes físicos del área de estudio que se ha determinado en la fase de diagnóstico, evaluación preliminar o *scoping*. Si bien la descripción se realiza por especialidad, cada una de ellas debe integrarse en una descripción integral del área de estudio. Debe tenerse en cuenta que existen disciplinas interrelacionadas, por lo que debe coordinarse el trabajo para sacar provecho a éstas y evitar inconsistencias en la caracterización.

Los siguientes capítulos describen los aspectos generales que pueden ser aplicables a todas las disciplinas.

1.0.2 Metodología

1.0.2.1 Revisión de Información Secundaria

El primer paso antes de los trabajos de campo es la búsqueda y consulta de la información secundaria disponible.

De existir información secundaria, ésta puede ser parte de la línea base siempre y cuando cumpla con ciertos requerimientos. Para que la información secundaria sea útil deberá cumplir con los siguientes requisitos mínimos:

- En caso que existan resultados de muestreo o de monitoreo, los puntos de muestreo o de monitoreo deben estar claramente definidos;
- La data o la información debe ser representativa del área a caracterizar; y
- La data o la información debe poseer la calidad apropiada, para lo cual debe revisarse el método de análisis, los límites de detección y el proceso de control y aseguramiento de calidad.

También es fundamental revisar las condiciones en que fue obtenida, su calidad y el tiempo en que fue adquirida.

Las fuentes que pueden utilizarse, siempre y cuando cumplan los requisitos anteriores, entre otras son:

- Informes de monitoreo de autoridades nacionales y regionales;
- Informes de programas de monitoreo de empresas privadas (incluyendo del titular) o instituciones públicas;
- Informes de monitoreo o de investigación de instituciones particulares, ONG o centros de investigación; y
- Líneas bases de proyectos ubicados en áreas próximas al área a caracterizar.

- Inventarios o bases de datos de actividades preexistentes en el área tales como: pasivos ambientales, sitios contaminados, entre otros.

Luego de la revisión de información secundaria, se recomienda identificar los parámetros relevantes y las posibles condiciones especiales del área de estudio.

Se debe considerar los requisitos del Decreto Supremo N° 005-2016-MINAM para las consideraciones de procedimiento del uso compartido de línea base.

1.0.2.2 Trabajo de Campo

Dependiendo de la disciplina, la primera decisión que se debería tomar es si la línea base se preparará en función a un programa de muestreo o de monitoreo, es decir con toma de muestras o mediciones puntuales o periódicas respectivamente. Proyectos con bajo potencial de generar impactos o ubicados en ambientes sin cambios significativos temporales de las condiciones a caracterizar pueden prepararse con un programa de muestreo. Proyectos de mayor significancia ambiental o en ambientes sensibles o cambiantes, podrían establecer un programa de monitoreo para la línea base.

1.0.2.2.1 Planificación del trabajo de campo

El diseño y planificación del trabajo de campo dependen de una serie de factores, entre los que se encuentran, según la disciplina, los parámetros a medir, la ubicación de las estaciones, los equipos y la metodología a utilizar, la calidad de la data a obtener, el tipo de proyecto, la disponibilidad de recursos, así como la accesibilidad al sitio y la seguridad del personal. Asimismo, deberán tenerse en cuenta en lo que corresponda, los protocolos establecidos por las diferentes entidades públicas y sectores competentes u otras entidades estatales o internacionales.

El plan de trabajo de campo debe considerar los siguientes factores en el diseño del programa de muestreo o monitoreo:

- Extensión y escala del plan reflejado en el número y ubicación de las estaciones;
- Parámetros;
- Equipos y métodos;
- Frecuencia o duración del plan;
- En algunos casos la resolución de tiempo de las mediciones, es decir la duración de medición;
- Dependiendo de la disciplina deberá tomarse en cuenta la estacionalidad.
- Tomar en cuenta los tiempos de medición de los diferentes parámetros establecidos en los instrumentos normativos.

1.0.2.2.2 Estaciones de muestreo/monitoreo

La selección de los puntos de muestreo/monitoreo debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Lugares con receptores ambientales sensibles;
- Lugares con presencia de poblaciones;
- Representatividad espacial;
- Topografía;
- Ubicación de las instalaciones o de actividades del proyecto;

- Actividades preexistentes o no rehabilitadas en el área tales como: pasivos ambientales, sitios contaminados, entre otros.
- Existencia de fuentes antrópicas o naturales de los parámetros seleccionados; y
- Accesibilidad y seguridad.

Dependiendo de la disciplina, algunos aspectos podrán tener mayor importancia que otros.

1.0.2.2.3 QA/QC del muestreo/monitoreo

El control y el aseguramiento de la calidad de la obtención de datos es parte esencial de cualquier programa de muestreo/monitoreo y comprende una serie de actividades que garantizan que la medición cumple normas definidas y apropiadas de calidad con un determinado nivel de confianza.

Se recomienda que como mínimo el control y el aseguramiento de calidad incluya los siguientes aspectos:

- Capacitación del personal que lleva a cabo el programa.
- Laboratorio y método de ensayo acreditados por INACAL.
- Calibración apropiada y regular de los equipos a utilizar para corregir sesgos y corrimientos instrumentales.
- Integridad de la muestra garantizada mediante una cadena de custodia que incluya como mínimo la fecha de las actividades, nombre de las personas que llevan a cabo las actividades, descripción de condiciones del tiempo, descripción del sitio, muestras etiquetadas apropiadamente; y la logística necesaria para poder trasladar las muestras en el tiempo estipulado por los métodos a utilizar.

1.0.3 Representación espacial

Las líneas base deberán contar con mapas referenciales enmarcados en el área de estudio, y deberán presentarse en una escala que permita relacionar el proyecto y sus instalaciones con los componentes ambientales a caracterizar. De acuerdo a la legislación vigente, los mapas deberán estar representados en coordenadas UTM - WGS 84.

1.1 Clima y Meteorología

De acuerdo a la Organización Meteorológica Mundial, el clima se define como las condiciones medias del tiempo (atmosférico) en una localidad particular para un período de tiempo considerado. De esta manera, el clima puede ser descrito en términos de medidas estadísticas de tendencia central y variabilidad de elementos relevantes como la temperatura, precipitación, presión atmosférica, humedad y vientos, o una combinación de éstos, que definen tipos de tiempo o condiciones meteorológicas características de la localidad (OMM, 2011).

La meteorología es la ciencia de la atmósfera, aunque se interesa particularmente por los fenómenos atmosféricos que repercuten en la superficie terrestre, interactuando con ésta.

No deben confundirse estos dos conceptos fundamentales: el tiempo y el clima; el primero hace referencia a las condiciones casi instantáneas (o momentáneas) de la atmósfera mientras que el segundo se refiere a las condiciones medias (o más permanentes).

1.1.1 Alcance

El clima y la meteorología en el marco de un estudio ambiental, describen las condiciones ambientales del área de estudio, y sirven como complemento para evaluar e interpretar otras variables ambientales, agua, aire, suelo y ruido, así como en la preparación de modelos de calidad.

Los parámetros más relevantes para caracterizar el (los) clima(s) del área evaluada son la temperatura y la precipitación, seguido por la humedad relativa y la dirección y velocidad de los vientos.

Esta información consiste normalmente en valores medios mensuales y anuales de cada parámetro evaluado, tomando en cuenta también los valores máximos y mínimos.

Adicionalmente, es recomendable construir un balance hídrico climático así como calcular los índices que permiten clasificar los climas evaluados de acuerdo a los sistemas de clasificación más conocidos.

Debido a que estas disciplinas requieren series de tiempo suficientemente extensas, el capítulo de Meteorología debe elaborarse con información secundaria y, de manera complementaria, con información primaria.

1.1.2 Metodología

A continuación se delinea un conjunto de actividades secuenciales que debe tomarse como referencia para la elaboración del capítulo de Clima y Meteorología.

1.1.2.1 Revisión de Información Secundaria

La información secundaria debe seguir los lineamientos del Capítulo 1.0.

1.1.2.1.1 Selección de las estaciones meteorológicas (o climatológicas)

Estas estaciones deben estar situadas dentro del área de estudio o en áreas en lo posible de la misma altitud, y con similitudes en sus características físico-biológicas (paisajísticas), condición que las hace representativas. En caso de utilizarse procedimientos de selección automatizados,

deberá tenerse cuidado que sean los procedimientos adecuados para el tipo de área a estudiar. Se debe considerar los datos más actualizados posibles, en función a las estaciones que se hayan elegido

1.1.2.1.2 Adquisición de los datos.

Seleccionadas las estaciones, se deben adquirir los datos de los parámetros meteorológicos relevantes: temperatura (máxima, media y mínima), precipitación, humedad relativa (máxima, media y mínima), dirección de vientos y velocidad de vientos. En todos los casos, los datos deben corresponder a series anuales lo más extensas posibles. Además, deben incluir el período más reciente disponible. Sin embargo, la información meteorológica a utilizar siempre estará sujeta a su disponibilidad.

Se puede considerar para ello, los productos de información elaborados por el SENAMHI, puesto que estos recogen el historial más largo de información y consideran información ya sistematizada.

1.1.2.1.3 Procesamiento de los datos.

Los datos adquiridos deben luego procesarse estadísticamente.

- En el caso de la temperatura, se deben obtener valores medios mensuales y anuales de las temperaturas máximas, medias y mínimas, si se disponen de los datos. Se pueden aplicar a los datos pruebas de consistencia, técnicas de completación, análisis de regresión y análisis de series de tiempo. Sin embargo, no se debe abusar de estas últimas técnicas estadísticas cuando se dispone de pocas estaciones en zonas de alta variabilidad climática,
- En el caso de la precipitación, se deben obtener valores totales medios mensuales y anuales. Es recomendable aplicar a los datos pruebas de consistencia, técnicas de completación, análisis de regresión y análisis de series de tiempo. La data debe permitir generar series anuales extensas, que serán preparados en el capítulo de Hidrología. Tampoco debe abusarse de las técnicas estadísticas cuando se dispone de pocas estaciones en zonas de alta variabilidad climática.
- En el caso de la humedad relativa aplican los criterios señalados para la temperatura.
- Para el viento, se deben obtener valores medios mensuales y anuales de velocidad y frecuencias máximas mensuales y anuales de dirección. Como los vientos suelen presentar una alta variabilidad en su comportamiento espacial, fuertemente dependiente de la topografía local, sólo las estaciones situadas en el área o punto de evaluación sean representativas. La información primaria será la que utilizará para la preparación de los modelos de calidad de aire y ruido.
- Dependiendo del proyecto, otros parámetros que pueden ser evaluados son la heliofanía (horas de sol o insolación) y la nubosidad (cobertura de nubes), aunque ambos pueden considerarse complementarios para los fines del capítulo, por lo que es suficiente con presentar los datos de uno de ellos. Estos parámetros pueden ser tan variables como el viento, por lo que aplican las recomendaciones hechas para este último.
- Otro parámetro importante es la evaporación, este parámetro que sintetiza las pérdidas superficiales de agua hacia la atmósfera y que es utilizado para la preparación

de balances de agua. Se deben obtener valores medios mensuales y anuales de la evaporación, si se disponen de los datos

1.1.2.1.4 Análisis de información meteorológica.

En caso se disponga de información meteorológica de una estación representativa, preferentemente situada en el área de evaluación, se debe procesar y analizar los datos relevantes para el proyecto y el área de estudio. Entre los parámetros a analizar se encuentran: temperatura, precipitación, evaporación, presión atmosférica, humedad relativa, heliofanía, evaporación, nubosidad, dirección y velocidad del viento. Los datos deben ser diarios y debe utilizarse la serie más larga disponible.

1.1.2.2 Mediciones en campo – Estaciones Meteorológicas

Es recomendable realizar mediciones meteorológicas en campo por medio de una estación automática de superficie desde las primeras fases del proyecto. Se debe medir preferentemente los siguientes parámetros: temperatura, precipitación, evaporación, presión atmosférica, radiación solar, humedad relativa, dirección y velocidad del viento. Las mediciones deben hacerse de manera continua durante por lo menos 24 horas; el número de mediciones estará acorde con las condiciones atmosféricas típicas de la zona. El número y ubicación de los puntos de medición debe determinarse en función del área de estudio y las características del proyecto.

1.1.2.3 Evaluación y Análisis de Resultado

Los resultados del procesamiento estadístico deben presentarse en gráficos (de ojivas, histogramas, rosas de vientos entre otros) que grafiquen adecuadamente el comportamiento y las relaciones existentes entre los valores medios de los parámetros y permitan la fácil comprensión de las condiciones climáticas del área evaluada.

1.1.2.3.1 Identificación de los tipos climáticos

Conociendo los valores medios de temperatura y precipitación, se puede identificar el o los tipos climáticos existentes en el área de evaluación. Hay tres sistemas de clasificación climática a considerar, el sistema de Köppen, el sistema de Thornthwaite (Thornthwaite, 1948) y el sistema de Holdridge (Holdridge, 1967), siendo este último específico para la determinación de zonas de vida.

La delimitación de los tipos climáticos debe hacerse conforme a un criterio paisajista, sobre todo en base a la visualización de los tipos de cobertura vegetal, tomando en cuenta los rangos altitudinales estimados para cada tipo. El mapa climático debe ser siempre el resultado de una interpretación del paisaje, en el entendido que la cobertura vegetal refleja directamente las condiciones climáticas.

La información del Mapa Ecológico del Perú (ONERN, 1976) utiliza el sistema de clasificación de Holdridge, mientras que el Mapa de Clasificación Climática del Perú (SENAMHI, 1988) utiliza el sistema de clasificación de Thornthwaite; sin embargo, deben utilizarse de manera referencial.

1.1.3 Mapas o representación espacial

Debe presentarse un mapa con la ubicación de estaciones meteorológicas utilizadas. Para la temperatura y la precipitación pueden generarse mapas de isotermas (temperatura) e isoyetas (precipitación), respectivamente, pero no en todos los casos. Estos mapas sólo deben presentarse cuando el área de evaluación tiene una variabilidad térmica o de precipitaciones significativa, lo cual implica en la práctica una importante variación altitudinal; en áreas llanas

o relativamente uniformes no tiene sentido desarrollarlas, por más extensas que sean las áreas de evaluación.

Si sólo se identifica un tipo climático en el área de evaluación, no será necesario elaborar un mapa climático; si se identifica más de un tipo climático, estos deberán ser representados en un mapa a una escala adecuada, donde pueda apreciarse con claridad las instalaciones del proyecto y los sitios de interés.

1.1.4 Referencias Bibliográficas y Documentos de Consulta

1.1.4.1 Referencias Bibliográficas

- OMM. (2011). Guía de Prácticas Climatológicas. Ginebra, Suiza: Organización Meteorológica Mundial.
- Holdridge, L.R. (1967). Life Zone Ecology. San José, Costa Rica: Tropical Science Center.
- ONERN. (1976). Mapa Ecológico del Perú. Lima, Perú: Oficina Nacional de Recursos Naturales.
- SENAMHI PERÚ (1988). Mapa de clasificación climática del Perú. Método de Thornthwaite. Lima, Perú: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú.
- Thornthwaite, C.W. (1948). An Approach toward a Rational Classification of Climate. *Geographical Review*, 38(1): 55-94.

1.1.4.2 Documentos de Consulta

- Aguiló, A. et al. (2004). *Guía para la Elaboración de Estudios del Medio Físico. Contenido y Metodología*. Madrid, España: Ministerio de Medio Ambiente.
- Viers, G. (1987). *Climatología*. Tercera edición. Barcelona, España: Oikos-Tau.
- World Meteorological Organization. (2007). *The Role of Climatological Normals in a Changing Climate*. Ginebra, Suiza: Omar Baddour & Hama Kontongomde.
- United States Environmental Protection Agency. (2000). *Meteorological monitoring guidance for regulatory modeling applications*. North Carolina: U.S. Environmental Protection Agency.
- United States Environmental Protection Agency. (2008). *Quality assurance handbook for air pollution measurement systems*. Volume IV: Meteorological Measurements. North Carolina: U.S. Environmental Protection Agency.

1.2 Calidad de Aire

1.2.1 Alcance

Algunos proyectos pueden alterar o modificar la calidad de aire, aumentando la concentración de algunos parámetros o contaminantes en la atmósfera a nivel local. El presente subcapítulo describe los lineamientos para la caracterización de la calidad de aire en el área de estudio y su comparación con los estándares de calidad ambiental.

1.2.2 Metodología

1.2.2.1 Revisión de Información Secundaria

La revisión de la información secundaria debe seguir los lineamientos del Capítulo 1.0.

1.2.2.2 Trabajo de Campo

El trabajo de campo debe seguir los lineamientos del Capítulo 1.0. El muestreo o monitoreo de la calidad del aire debe estar acompañado por un monitoreo meteorológico, debido a que la meteorología posee una estrecha relación con la dispersión de contaminantes. Deberá considerarse en la planificación del trabajo de campo si se utilizará información de una estación cercana o se acompañará el trabajo de campo con un monitoreo de datos meteorológicos paralela.

En el caso de proyectos en el mar, se recomienda realizar el modelamiento de calidad de aire, para verificar la dirección y concentración de los contaminantes y su comprobación de afectación de receptores humanos ubicados en la costa.

1.2.2.2.1 Planificación del trabajo de campo

Adicionalmente a los lineamientos generales del Capítulo 1.0, deberá tenerse en cuenta en lo que corresponda, los protocolos establecidos por las diferentes entidades públicas y sectores competentes como MINAM (MINAM, 2014), PRODUCE (PRODUCE 2010), DIGESA (DIGESA, 2005), u otras entidades estatales o internacionales, etc. dependiendo del sector al que pertenece el proyecto (Los protocolos se encuentran listados en las referencias).

1.2.2.2.2 Estaciones de muestreo/monitoreo

La selección de los puntos de muestreo/monitoreo deben seguir los lineamientos generales expresados en el Capítulo 1.0.

La extensión del área en la que se establecerán los puntos de muestreo/monitoreo debe ser establecida tomando en cuenta principalmente las características del proyecto y su área de operación.

1.2.2.2.3 Estacionalidad

Los muestreos/monitoreos para calidad del aire deben considerar la estacionalidad identificada en la revisión de información de clima y meteorología, ya que las condiciones de cada estación influyen en la calidad de aire. Por ejemplo, se puede anticipar que la concentración de material particulado será mayor durante época seca que durante época de lluvias. La estacionalidad también puede en algunos ambientes influir en condiciones de vientos y, por lo tanto, hacer variar el transporte de materiales particulados y la calidad de

aire. Para poder establecer el peor escenario durante la evaluación de impactos, debe realizarse un muestreo durante la época donde se estima se podrían registrar las concentraciones más elevadas de los parámetros relevantes.

1.2.2.2.4 Frecuencia, duración del muestreo y duración del plan de muestreo o programa de monitoreo

La frecuencia en caso de planes de muestreo deberá considerar aquellas determinadas en la normativa vigente, la estacionalidad, y deberá considerar mediciones en días representativos o días donde se esperan las mayores concentraciones de los parámetros seleccionados. Esta decisión dependerá del objetivo del programa y de las características del proyecto.

En el caso de programas de monitoreo, se debe establecer la frecuencia de manera tal que se realicen mediciones durante los diferentes días de la semana. La duración del programa de monitoreo dependerá de las necesidades del titular.

La duración del muestreo se entiende como el tiempo que dura la medición. Muchos de los parámetros poseen estándares definidos en función de un periodo (por ejemplo: 24 horas, 8 horas u otros periodos), el cual deberá tenerse en cuenta para establecer el programa de muestreo/monitoreo de la línea base. En algunos casos especiales, dependiendo de las características del proyecto, pueda que se requieran mediciones con periodos más cortos.

1.2.2.2.5 Parámetros / Variables a considerar

La elección de los parámetros debe enfocarse en los parámetros regulados por la normatividad (ECA para aire) que están directamente relacionados con las actividades a desarrollar a lo largo del ciclo de vida del proyecto.

La información sobre la naturaleza de las fuentes presentes en el área proporcionará una buena indicación de qué contaminantes monitorear.

El protocolo de monitoreo de la calidad del aire y gestión de datos (DIGESA, 2005) especifica los contaminantes que deben monitorearse en base a la fuente de contaminación. Asimismo, de manera referencial la Tabla 1.1-1 resume los principales parámetros y sus principales fuentes.

Tabla 1.2-1: Principales parámetros de calidad de aire y sus principales fuentes

Parámetro	Fuente Antropogénica	Fuente Natural
SO ₂	<ul style="list-style-type: none"> • Generadoras eléctricas a carbón o <i>diesel</i> • Calderas industriales • Incineradores de residuos • Uso de combustibles fósiles (vehículos, equipos con motores a combustión) • Fundiciones • Industrias 	<ul style="list-style-type: none"> • Volcanes
Material Particulado PM ₁₀ y PM _{2.5}	<ul style="list-style-type: none"> • Generadoras eléctricas a combustible fósil • Calderas industriales • Incineradores de residuos • Uso de combustibles fósiles (vehículos, equipos con motores a combustión) • Fundiciones • Movimiento de tierras (minería, canteras) • Tráfico de vehículos • Cementeras • Industrias 	<ul style="list-style-type: none"> • Erosión eólica • Material fino movilizado por vientos fuertes
Óxidos de Nitrógeno	<ul style="list-style-type: none"> • Generadoras eléctricas a combustible fósil • Calderas industriales 	<ul style="list-style-type: none"> • Incendios forestales

Parámetro	Fuente Antropogénica	Fuente Natural
(NOx, NO, NO2)	<ul style="list-style-type: none"> • Incineradores de residuos • Uso de combustibles fósiles (vehículos, equipos con motores a combustión) 	
CO	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de combustibles fósiles (vehículos, equipos con motores a combustión) • Generadoras eléctricas a combustible fósil 	
VOC	<ul style="list-style-type: none"> • Motores a petróleo • Estaciones de almacenamiento de combustibles • Industria con uso de solventes 	
PAH, PCB, Dioxinas	<ul style="list-style-type: none"> • Incineradores de residuos • Producción de <i>coke</i> • Combustión de carbón 	
Metales Pb, Cd, Hg	<ul style="list-style-type: none"> • Procesamiento de metales • Combustión de combustibles con metales • Combustión de carbón • Manufactura de baterías • Producción de fertilizantes • Cementeras • Generadoras de combustibles fósiles • Minería • Fundiciones 	<ul style="list-style-type: none"> • Erosión eólica en zonas mineralizadas
Cl2, NH3	<ul style="list-style-type: none"> • Plantas químicas • Procesadoras de metales • Industria de fertilizantes 	
GEI	<ul style="list-style-type: none"> • Combustión de combustibles fósiles • Generadoras • Rellenos sanitarios 	

*Elaboración propia

Como se mencionó anteriormente, se debe contar con un registro de datos meteorológicos. En caso de utilizar una estación portátil, ésta deberá ser instalada en la misma estación y como mínimo la estación deberá registrar velocidad y dirección del viento, humedad relativa y temperatura ambiental.

1.2.2.2.6 Métodos de muestreo

La norma de ECA y el protocolo de calidad de aire establece métodos de análisis referenciados y la posibilidad de usar métodos equivalentes (referidos a instituciones US-EPA, Unión Europea) e incluso métodos no referenciados siempre y cuando se demuestre su competencia técnica mediante pruebas de exactitud y precisión a través de estudios de correlación con métodos referenciados.

Los estudios de validación deben contener la determinación de los siguientes parámetros:

- Veracidad
- Precisión (repetibilidad y reproductibilidad).
- Selectividad/Especificidad.
- Rango (intervalo de trabajo).
- Linealidad/función de respuesta.
- Límite de detección.
- Límite de cuantificación.
- Incertidumbre.
- Sensibilidad.
- Robustez.

Cabe indicar que el laboratorio deberá sustentar técnicamente la aplicación o no de cada uno de los parámetros de validación citados.

1.2.2.2.7 QA/QC del muestreo/monitoreo

El control y el aseguramiento de la calidad de la obtención de datos deben seguir los lineamientos generales mencionados en el Capítulo 1.0.

1.2.2.3 Evaluación y Análisis de Resultados

Dependiendo de la cantidad de datos obtenidos, es importante que se preparen estadísticas de los mismos. Además de valores máximos, mínimos y promedios, los valores del percentil 90 y percentil 10 son importantes para poder evaluar si los valores máximos o mínimos son significativos. El uso de tablas y gráficas es un apoyo importante para la representación de los resultados.

Considerando que algunos de los ECA poseen formatos que pueden incluir un número de excedencias por año, también es importante que se identifique además de las concentraciones máximas, las concentraciones segunda y hasta tercera máximas para poder establecer si se ha cumplido con los ECA o no.

1.2.2.4 Representación espacial

Presentar mapas de ubicación de puntos de muestreo de calidad del aire a una escala adecuada, de tal manera que se puedan visualizar los componentes del proyecto y su ubicación respecto a poblaciones cercanas o áreas sensibles identificadas. Asimismo, de considerarse de utilidad, puede incluirse un mapa topográfico la topografía del área.

Dependiendo del sector pueda que las figuras o planos tengan algunos requisitos adicionales o requiera de firma del profesional responsable.

1.2.3 Referencias bibliográficas y documentos de consulta

1.2.3.1 Referencias Bibliográficas

- DIGESA, 2005. Protocolo de Monitoreo de la Calidad del Aire y Gestión de los Datos establecido mediante la R. D. N° 1404/2005/DIGESA/SA.
- MINAM, 2016. Protocolo Nacional de Sistemas de Monitoreo Continuo de Emisiones - CEMS, aprobado mediante Resolución Ministerial N° 201-2016-MINAM PRODUCE, 2010. Protocolo para el Monitoreo de Emisiones Atmosféricas y Calidad de Aire de la Industria de Harina y Aceite de Pescado y de Harina de Residuos Hidrobiológicos. R.M. N° 194-2010-PRODUCE.
- MINAM, 2017. Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Aire establecido mediante el Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM.
- UN, 2012. Glosario de término sobre garantía de calidad y buenas prácticas de laboratorio. Naciones Unidas, Nueva York 2012.

1.2.3.2 Documentos de Consulta

- Organización Mundial de la Salud (2005). *Guías de la Calidad del Aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre.*

- Organización Mundial de la Salud (2002). *Manuales de Metodología de GEMS/Aire. Volumen 1. Aseguramiento de la calidad en el monitoreo de la calidad del aire urbano*. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).
- Fernández R. (2007). *Metodología de Evaluación de la Calidad del Aire*. Monografías de la Real Academia Nacional de Farmacia, 23: 403-436.
- Dirección General de Salud Ambiental (2005). *Protocolo de Monitoreo de la Calidad del Aire y Gestión de los Datos*. Lima, Perú: Ministerio de Salud.
- Instituto Nacional de Ecología. *Manual 1: Principios de la Medición de la Calidad del Aire*. México.
- WHO (2005). *Air quality guideline – global update for particulate matter, ozone nitrogen oxide and sulphur dioxide* (www.who.int/phe/health_topics/outdoorair_aqg/en/).
- MINAM (2016). Protocolo Nacional de Sistemas de Monitoreo Continuo de Emisiones - CEMS, aprobado mediante Resolución Ministerial N° 201-2014-MINAM.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia (2014). Protocolo para el monitoreo, control y vigilancia de olores ofensivos

1.3 Ruido

De conformidad con lo establecido en el Reglamento de los Estándares Nacionales de Calidad ambiental para ruido, se entiende por ruido como todo aquel sonido no deseado que moleste, perjudique o afecte a la salud de las personas. Para la caracterización de ruido ambiental se utiliza el concepto de Nivel de Presión Sonora (NPS o Lp), cuyas unidades de medición son decibeles (dB).

1.3.1 Alcance

Caracterizar los niveles de ruido ambiental previo a las actividades de los futuros proyectos, para determinar las condiciones sonoras naturales o actuales de los receptores en el área de influencia.

1.3.2 Metodología

1.3.2.1 Revisión de Información Secundaria

La información secundaria de ruido es por lo general escasa. De existir la revisión de información secundaria debe seguir los lineamientos generales del Capítulo 1.0.

1.3.2.2 Trabajo de Campo

1.3.2.2.1 Planificación del trabajo de campo

La planificación de trabajo de campo debe seguir los lineamientos del Capítulo 1.0, en lo que corresponda. Los aspectos técnicos para la medición de presión sonora son tratados en normas técnicas peruanas, las cuales deberán ser consultadas (INDECOPI, 2007; INDECOPI, 2008).

1.3.2.2.2 Estaciones de muestreo/monitoreo

La selección de los puntos debe seguir los lineamientos del Capítulo 1.0. La extensión del área en la que se establecerán los puntos de muestreo/monitoreo debe ser establecida tomando en cuenta las características del proyecto y su área de operación, la presencia de fuentes de ruido no relacionadas con el proyecto, y aspectos sociales como percepciones.

1.3.2.2.3 Estacionalidad

Los cambios en las condiciones meteorológicas: viento (dirección y velocidad), temperatura y humedad relativa, son los que influyen en la dispersión de los niveles de presión sonora. Por lo tanto, deberá considerarse los cambios estacionales de estos parámetros para establecer las fechas del trabajo de campo. Debe también tomarse en cuenta que no se debe medir en caso de lluvia, granizo o tormentas, ya que estas mediciones no registrarán las condiciones normales.

1.3.2.2.4 Frecuencia, duración del muestreo

La frecuencia del muestreo deberá considerar la estacionalidad de acuerdo a la sección anterior, y deberá considerar mediciones en días representativos o días donde se esperan las mayores concentraciones de los parámetros seleccionados. En el caso de programas de monitoreo, se debe establecer la frecuencia de manera tal, que se realicen mediciones durante los diferentes días de la semana.

La normativa nacional sobre ruido establece que las mediciones de ruido deben ser en horario diurno (07:01 am a 10:00 pm), y en horario nocturno (10:01 pm a 07:00 am).

Se puede establecer periodos de duración de la medición según las características del proyecto y deben estar relacionadas a las actividades del proyecto u operaciones cercanas. La norma técnica peruana (INDECOPI, 2007) define intervalos de tiempo de medición relevantes que pueden ser utilizados.

Para aquellos proyectos en los que se elaborará un modelamiento de ruido ambiental, se recomienda realizar las mediciones durante 24 horas seguidas o un intervalo de horas seguidas para una caracterización continua de ser posible.

1.3.2.2.5 Parámetros a considerar

El parámetro más importante es el Nivel de Presión Sonora Continuo Equivalente con ponderación A (L_{AeqT}), y es el nivel de presión sonora constante, expresado en decibeles A que, en el mismo intervalo de tiempo (T), contiene la misma energía total que el sonido medido. El L_{AeqT} debe ser medido en horario diurno y nocturno, de acuerdo con la normativa peruana.

1.3.2.2.6 Métodos de muestreo

El equipo de medición (sonómetro) y su calibrador, deberán contar con certificado de verificación vigente. Así también es recomendable que antes y después de cada serie de mediciones, se debe verificar la calibración del sistema completo empleando un calibrador acústico (fuente de referencia sonora) clase 1 o clase 2, acorde a la norma internacional IEC 60942:2003, que genere una o más frecuencias.

Como mínimo el control y el aseguramiento de calidad debe incluir los siguientes aspectos:

- Capacitación del personal que lleva a cabo el programa.
- Calibración apropiada y regular de los equipos a utilizar para corregir sesgos y corrimientos instrumentales.
- Verificar la vigencia de los certificados de calibración o verificación del sonómetro y calibrador.

1.3.2.3 Evaluación y Análisis de Resultados

Para la evaluación de los resultados, los valores de presión sonora continua equivalente deberán compararse con los ECA nacionales vigentes para la zona y el horario correspondiente.

Dependiendo de la cantidad de datos obtenidos, es importante que se preparen estadísticas de los datos. Además de valores máximos, mínimos y promedios, los valores del percentil 90 y percentil 10 son importantes para poder evaluar si los valores máximos o mínimos son significativos.

El uso de tablas y gráficas es un apoyo importante para la representación de los resultados; teniendo en cuenta que algunas de estas herramientas no deben utilizarse si sólo se cuenta con un número reducido de datos.

Para la evaluación de los resultados considerando los ECA, se deberá primero identificar la zonificación donde se han ubicado las estaciones de muestreo/monitoreo, y aplicar el ECA correspondiente.

1.3.2.4 Representación espacial

Presentar mapas de ubicación de puntos de medición de ruido ambiental a una escala adecuada, de tal manera que se pueda visualizar los componentes del proyecto y su ubicación respecto a poblaciones cercanas o receptores ambientales sensibles.

1.3.3 Referencias bibliográficas y documentos de consulta

1.3.3.1 Referencias Bibliográficas

- Presidencia del Consejo de Ministros (2003). *Reglamento de Estándares Nacional de Calidad Ambiental para Ruido*. Lima, Perú.
- Indecopi (2007). *Norma Técnica Peruana 1996-1:2007, Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental. Parte 1: Índices básicos y procedimiento de evaluación*. Lima, Perú.
- Indecopi (2008). *Norma Técnica Peruana 1996-2:2008, Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental. Parte 2: Determinación de los niveles de ruido ambiental*. Lima, Perú.
- MINAM. (2013). *Pre-Publicación del Protocolo Nacional de Monitoreo de Ruido Ambiental*. Lima, Perú.

1.3.3.2 Documentos de consulta

- ISO 1996. ISO 1996-1. Acoustics — Description, measurement and assessment of environmental noise — Part 1: Basic quantities and assessment procedures.
- ISO 1996-2. Acoustics — Description and measurement of environmental noise — Part 2: Acquisition of data pertinent to land use. AMENDMENT 1.
- ISO 1996-3. Acoustics — Description and measurement of environmental noise — Part 3: Application to noise limit.

1.4 Vibraciones

1.4.1 Alcance

Las vibraciones pueden ser causadas por vehículos (aéreos, terrestres o marítimos), maquinarias, actividades industriales (por ejemplo, pilotaje y explosiones controladas), y pueden causar daños a la propiedad y en casos extremos pueden interferir en el bienestar, las actividades y la salud. Las mediciones de vibración y el conocimiento de la geología del lugar pueden permitir también cálculos teóricos de vibración. Debe recordarse que las vibraciones deben ser evaluadas sólo si han sido identificadas como aspecto relevante durante el diagnóstico, evaluación preliminar o *scoping*.

1.4.2 Metodología

1.4.2.1 Revisión de Información Secundaria

La información secundaria de vibraciones es muy poco común, pero de existir debe tomarse en cuenta los lineamientos señalados en el Capítulo 1.0.

1.4.2.2 Trabajo de Campo

1.4.2.2.1 Planificación del trabajo de campo

Para la planificación del trabajo de campo debe tomarse en cuenta los lineamientos señalados en el Capítulo 1.0.

1.4.2.2.2 Estaciones de muestreo/monitoreo

La selección de los puntos de muestreo debe tener los siguientes aspectos:

- Lugares con receptores ambientales sensibles;
- Lugares con presencia de poblaciones;
- Ubicación de infraestructura a proteger;
- Ubicación de las instalaciones o de actividades del proyecto que generen las vibraciones a tomar en cuenta; y
- Accesibilidad y seguridad.

1.4.2.2.3 Estacionalidad

La estacionalidad no tiene influencia en las vibraciones.

1.4.2.2.4 Frecuencia, duración del muestreo y duración del programa

Al no depender de la estacionalidad, las medidas de vibración se llevan a cabo una sola vez y el muestreo no posee frecuencia.

1.4.2.2.5 Parámetros / Variables a considerar

Para la evaluación de los efectos sobre la infraestructura y el bienestar se utiliza como variable de fondo la aceleración r.m.s. ponderada en frecuencia (m/s^2).

1.4.2.2.6 Métodos de muestreo

El rango de frecuencia considerado para la evaluación debe ser de 0,5 Hz a 80 Hz. La duración de la medición debe ser lo suficiente como para asegurar que la vibración sea típica de las exposiciones que están siendo evaluadas.

Se deben considerar los aspectos señalados en el Capítulo 1.0 sobre el control y aseguramiento de calidad.

1.4.2.3 Evaluación y Análisis de Resultados

Se considera la metodología de la Norma Técnica Peruana NTP-ISO 2631-1:2011 “Vibraciones y Choques Mecánicos. Evaluación de la exposición humana a las vibraciones de cuerpo entero. Parte 1: Requisitos Generales”, la cual está basada en la Norma ISO 2631. La NTP no contiene límites de exposición a las vibraciones; sin embargo, ha definido métodos de evaluación para que puedan utilizarse como base para determinar los efectos a la salud y al bienestar humano.

1. Anexo B “Guía para los efectos de las vibraciones sobre la salud”.
2. Anexo C “Guía para los efectos de las vibraciones sobre el bienestar y la percepción”.

1.4.2.4 Representación espacial

Presentar mapas de ubicación de puntos de medición una escala adecuada, de tal manera que se puedan visualizar los componentes del proyecto.

1.4.3 Referencias bibliográficas y documentos de consulta

- Indecopi (2011). *Norma Técnica Peruana ISO 2631-1-2011. Vibraciones y Choques Mecánicos: Evaluación de la exposición humana a las vibraciones del cuerpo entero Parte 1 Requisitos Generales*. Lima, Perú.
- Asociación Española de Normalización y Certificación (2008). *UNE-ISO 2631-2 Vibraciones y Choques Mecánicos. Evaluación de la exposición Humana a las Vibraciones de Cuerpo Entero. Parte 2: Vibraciones en Edificios de 1 Hz a 80 Hz*. Madrid, España.

1.5 Radiaciones no Ionizantes

1.5.1 Alcance

La evaluación de Radiaciones No Ionizantes (RNI) incluye el estudio de campos electromagnéticos, en tal sentido se evalúa los campos eléctricos y magnéticos, característicos de las radiaciones de ondas electromagnéticas durante la transmisión de energía en el área de estudio (servicios de telecomunicaciones y redes eléctricas). Si bien no existe evidencia científica que sustente que las RNI causen daños a la salud, por el principio precautorio, el Estado Peruano ha establecido Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para RNI.

1.5.2 Metodología

1.5.2.1 Revisión de Información Secundaria

La información secundaria de RNI es por lo general escasa, en caso de existir, se debe considerar los lineamientos generales del Capítulo 1.0.

1.5.2.2 Trabajo de Campo

1.5.2.2.1 Planificación del trabajo de campo

Para el trabajo de campo debe tenerse en cuenta los lineamientos generales del Capítulo 1.0.

1.5.2.2.2 Estaciones de muestreo/monitoreo

Para determinar las estaciones de muestreo, se recomienda determinar a priori las posibles fuentes de emisión de RNI, con el apoyo de información preliminar, referencias bibliográficas y ayuda de imágenes satelitales de la zona del proyecto.

1.5.2.2.3 Estacionalidad

Si bien es cierto, la estacionalidad no juega un papel en la medición de RNI, debe tenerse en consideración que no se deben realizar mediciones en caso de lluvia, granizo o tormentas, ya que estas no registrarán las condiciones normales.

1.5.2.2.4 Frecuencia, duración del muestreo y duración del programa

Como la estacionalidad no juega un papel en las mediciones de RNI, la medición se lleva a cabo una sola vez.

1.5.2.2.5 Parámetros / Variables a considerar

Dependiendo del tipo de proyecto, se deben considerar de manera inicial los siguientes parámetros:

Parámetro	Símbolo	Unidad
Intensidad de campo eléctrico	E	V/m
Intensidad de campo	H	A/m
Densidad de flujo magnético	B	μT
Densidad de Potencia	Seq	W/m^2

Las mediciones se realizarán en los rangos de frecuencias que correspondan a los tipos de proyectos a evaluar de acuerdo a la normativa nacional.

1.5.2.2.6 Métodos de muestreo

Las mediciones se realizarán en los exteriores de las posibles fuentes de emisión, a fin de evaluar su incidencia en la población. Las mediciones se realizarán en los componentes proyectados tales como: infraestructura de telecomunicaciones, subestaciones eléctricas, torres eléctricas, casas de fuerza, emplazamiento de la línea de transmisión en centros poblados.

Para el caso de las RNI generadas por las redes eléctricas, en tanto no se cuente con un protocolo nacional de medición, se considerará de manera referencial la norma IEEE Std. 644 – 1994 “Standard procedures for measurement of Power frequency Electric and Magnetic Fields from AC Power Lines”. Esta norma es difundida por el Instituto Americano para Normas Nacionales y por el Instituto Americano para Normas Nacionales y por el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (Institute of Electrical and Electronic Engineers de Estados Unidos de Norteamérica). La norma establece que las mediciones deben realizarse en los cuatro puntos cardinales y sus bisectrices.

Para el caso de las RNI generadas por los servicios de telecomunicaciones, se debe ajustar a la normativa sectorial del MTC referente a RNI.

Las mediciones se realizarán a una altura no menor a 1 m sobre el piso. Se debe de evitar el efecto de apantallamiento de las radiaciones por parte del operador, por lo cual se debe de mantener a una distancia aproximada de 2 metros del equipo de medición. Las mediciones se realizarán en zonas con ausencia de edificaciones y/o alguna otra forma de barrera, que impida una medición correcta de las RNI. Se deben apagar las fuentes de emisiones de RNI del personal involucrado en la realización de la medición.

1.5.2.3 Evaluación y Análisis de Resultados

Para la interpretación de resultados:

- Se evaluarán a través de gráficas y tablas los parámetros de intensidad de campo eléctrico (E) y densidad de flujo magnético (B); para una frecuencia de 60 Hz en base a los Estándares de Calidad Ambiental para Radiaciones No Ionizantes (ECA-RNI) vigente.
- Se evaluarán a través de gráficas y tablas los parámetros de intensidad de campo eléctrico (E) o densidad de potencia (W/m^2); para frecuencias de telecomunicaciones en base a los Estándares de Calidad Ambiental para Radiaciones No Ionizantes (ECA-RNI) vigente.
- En el caso se identifiquen niveles que sobrepasen los ECA-RNI, se deberá de identificar las posibles fuentes.

1.5.2.4 Representación espacial

Los mapas se deben realizar a una escala adecuada que permita visualizar los puntos de medición, así como los componentes del proyecto.

1.5.3 Referencias bibliográficas y documentos de consulta

- PCM (2005). *Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Radiaciones No Ionizantes*. Decreto Supremo N° 010-2005-PCM.

- Dirección General de Electricidad (2006). *Código Nacional de Electricidad: Utilización*. Lima, Perú: Ministerio de Energía y Minas.
- International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). *Valores máximos de Radiaciones No Ionizantes referidos a Campos Eléctricos y Magnéticos*.
- MTC (2003). Aprueban norma técnica sobre Protocolos de medición de Radiaciones No Ionizantes. Resolución Ministerial N° 613-2004 MTC/03.

1.6 Geología

1.6.1 Alcance

Caracterizar la Geología del área de estudio es importante porque influyó en la formación del paisaje y de los suelos, y así a la flora del área de estudio. La Geología es también la base de los estudios de Hidrogeología, influye en la composición química de los cuerpos de agua, y apoya en el análisis de riesgos como la generación de aguas ácidas. Si bien la Geología es amplia, la Línea Base de Geología debe enfocarse en los aspectos importantes para la evaluación de impactos.

1.6.2 Metodología

1.6.2.1 Revisión de Información Secundaria

En el caso específico de Geología, existe información secundaria a nivel regional. La principal fuente de información secundaria es la Carta Geológica Nacional del INGEMMET, desarrollada a escala 1:100 000, y en menor medida a escala 1:50 000, conjuntamente con los boletines geológicos, que constituyen estudios regionales de cada cuadrángulo que integra la carta. Para el caso de la Geología en el área del proyecto puede contarse con estudios previos, especialmente en los sectores de minería e hidrocarburos. Estas fuentes secundarias permiten preparar un mapa geológico preliminar del área de estudio.

1.6.2.2 Trabajo de Campo

1.6.2.2.1 Foto-interpretación

Mediante el análisis de bandas y clasificaciones diversas con imágenes de satélite, especialmente a través de pares estereoscópicos ya sean satelitales o de fotografías aéreas se pueden obtener más rasgos geológicos de interés que los identificados en la información secundaria. De esta manera se puede ajustar el mapa geológico obtenido de la información secundaria.

1.6.2.2.2 Planificación del trabajo de campo

Dependiendo del proyecto, puede requerirse un trabajo de campo para preparar un mapa geológico detallado del área del proyecto y las áreas adyacentes.

El énfasis del trabajo de campo debe estar enfocado en identificar y delimitar al detalle las formaciones identificadas. En la medida en que la oportunidad se presente, se podrá también evaluar la litología de afloramientos representativos de las formaciones existentes y las diversas manifestaciones de la geología estructural.

En el caso de proyectos que requieran trabajos de perforación, los testigos son una fuente de información primaria importante.

1.6.2.3 Evaluación y Análisis de Resultados

El resultado de la evaluación y análisis de los resultados es el mapa geológico final, que debe mostrar las unidades litoestratigráficas y elementos estructurales como fallas y plegamientos. Asimismo debe prepararse una columna estratigráfica, especialmente en el área del proyecto.

El mapa geológico debe estar acompañado de secciones o perfiles geológicos, que representen en profundidad las relaciones estratigráficas y los elementos estructurales identificados. Para proyectos de explotación minera se deberá incluir una descripción del yacimiento a explotar.

Si bien una unidad litoestratigráfica no tiene un espesor mínimo. Sin embargo, por razones prácticas, se recomienda representar únicamente las de cierto espesor que permita su adecuada representación a la escala de estudio, y no representar ningún suelo residual de espesor inferior a unos pocos metros. En estos casos debe considerarse la unidad litológica subyacente.

1.6.2.4 Representación espacial

Presentar mapas geológicos en una escala adecuada, de tal manera que se puedan visualizar los componentes del proyecto. Para la aplicación de colores, tramas y simbología, se recomienda tener en cuenta lo señalado en los estándares internacionales de cartografía geológica.

1.6.3 Referencias bibliográficas y documentos de consulta

- Comisión Norteamericana de Nomenclatura Estratigráfica. 2010. *Código estratigráfico norteamericano*. Boletín 117. México, D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología.
- Reguant, Salvador y Roser Ortiz. 2001. *Guía Estratigráfica Internacional. Versión Abreviada*. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 14: 3-4.
- U.S. Geological Survey (USGS). (2006). *FGDC Digital Cartographic Standard for Geologic Map Symbolization*. Geologic Data Subcommittee, Federal Geographic Data Committee. Reston, Va.
- Gestión de la Información Geocientífica (SINGEO). (2012). *Estándares de cartografía geológica digital para planchas a escala 1:100 000 y Mapas departamentales. Versión 2*. Bogotá, Colombia: Ministerio de Minas y Energía. Servicio Geológico Colombiano.
- Subdirección de Reconocimientos Geocientíficos. (2001). *Estándares cartográficos y de manejo de información gráfica para mapas geológicos departamentales y planchas esc. 1:100 000. Versión 1.1*. Instituto de Investigación e Información Geocientífica, Minero-Ambiental y Nuclear (INGEOMINAS).
- Tarbuck, E.J. & Lutgens F.K. (2005). *Ciencias de la Tierra. Una introducción a la geología física*. Octava edición. Madrid, España: Pearson-Prentice Hall.
- Vera Torres, J.A. (1994). *Estratigrafía. Principios y Métodos*. Madrid, España: Editorial Rueda.
- Tumialán de la Cruz, P. (2003). *Compendio de yacimientos minerales del Perú*. Instituto Geológico, Minero y Metalurgista (INGEMMET).

1.7 Geoquímica

1.7.1 Alcance

La caracterización geoquímica permite evaluar el potencial de generación de agua ácida de los materiales expuestos como consecuencia del desarrollo de un proyecto. Por los volúmenes de materiales a mover y la magnitud de las áreas expuestas, la caracterización geoquímica es especialmente importante para los proyectos mineros.

La caracterización geoquímica en el marco de un Estudio de Impacto Ambiental debe permitir establecer el potencial de generación de acidez de los materiales, y debe permitir predecir los parámetros de preocupación ambiental, como aquellos que pueden llegar a los suelos o cursos de aguas. Asimismo, la caracterización debe permitir pronosticar de manera aproximada la calidad de los efluentes que se generarán. De esta manera, se podrán diseñar los planes de manejo de residuos para evitar o controlar la generación de aguas ácidas, diseñar los sistemas de manejo de agua, incluyendo plantas de tratamiento, así como alimentar los modelos de calidad de agua para la evaluación de impactos.

1.7.2 Metodología

1.7.2.1 Revisión de información secundaria

Para la revisión de información secundaria deben considerarse los lineamientos generales del Capítulo 1.0. Si consideramos que la caracterización es propia de cada lugar y proyecto, la información secundaria a revisar será principalmente aquella generada por el proyecto en fases anteriores o durante los trabajos de exploración.

En especial, la información geológica obtenida de los trabajos de exploración es valiosa. Es recomendable tener en cuenta algunos parámetros importantes de caracterización geoquímica (como por ejemplo el contenido de sulfuros) en los registros de testigos para poder aprovechar el esfuerzo de exploración a favor de la caracterización geoquímica.

Una fuente de información secundaria útil es la relacionada a posibles operaciones previas o pasivos ambientales que pueden existir en áreas cercanas con geología similar que puedan ser utilizados como analogías naturales. En estos casos, la caracterización química de los efluentes es información muy útil que se puede utilizar en la caracterización geoquímica.

1.7.2.2 Trabajo de Campo

1.7.2.2.1 Planificación del trabajo de campo

El trabajo de campo consistirá en seleccionar las muestras que serán analizadas, las cuales deberán ser representativas de los materiales que serán removidos y expuestos. Para un trabajo de campo efectivo es fundamental que:

- Se hayan revisado los mapas geológicos locales y del depósito;
- Se conozca de manera aproximada los materiales que serán movidos y expuestos, así como las cantidades a mover, y las áreas expuestas, para poder preparar un plan de muestreo apropiado; y
- Se haya coordinado con el departamento de Geología para poder tener acceso a los logueos y los testigos de exploración.

1.7.2.2.2 Muestreo

Seleccionar las muestras es una tarea crítica para lograr una caracterización apropiada que incluya las litologías presentes de manera representativa, por lo que debe ser planificada con detenimiento. Las muestras tienen que ser representativas de cada suelo o litología presente, por lo que el número de muestras debe estar basado en las características del proyecto, como ubicación de las instalaciones, litologías que intercepta, y volúmenes y áreas de material que se moverán o quedarán expuestas. El tamaño de la muestra debe ser adecuado para representar la variabilidad/heterogeneidad dentro de cada unidad geológica.

Los factores como el tamaño de grano, defectos estructurales, alteración, brechamiento y vetado deben ser considerados en la selección de muestras. Como referencia se pueden consultar algunas guías que establecen el número de muestras en base al tipo de proyecto (*Australian Government Department of Industry, Tourism and Resources, 2007*).

La caracterización geoquímica de muestras para la caracterización del material de desmonte debe incluir un examen de la cobertura espacial de las perforaciones con referencia a la extensión del tajo o mina subterránea. También pueden usarse otras fuentes de materiales como cortes, muestras de mina, compósitos de mena, residuos y productos de los ensayos metalúrgicos.

Se debe considerar para la toma de muestra todo material que vaya a ser expuesto y que posea el potencial de generar drenaje ácido de roca (ARD por sus siglas en Inglés) o liberar contaminantes en cantidades significativas, incluyendo materiales de construcción o materiales de canteras.

Es recomendable desarrollar y seguir un protocolo de aseguramiento y control de calidad (que incluya entre otros duplicados, cadena de custodia, inclusión de muestras estándares). Asimismo, se debe planificar cuidadosamente la preparación y almacenamiento de muestras para lograr resultados precisos. Una descripción más detallada se puede encontrar en Price (2009).

1.7.3 Ensayos

El programa de laboratorio de caracterización geoquímica por lo general incluye los siguientes análisis:

- Ensayos estáticos
 - Composición química (análisis elemental)
 - Análisis mineralógico
 - Conteo ácido-base (ABA)
 - Generación ácida neta (NAG)
 - Ensayos de extracción con soluciones
- Ensayos cinéticos
 - Celdas de humedad

Los ensayos estáticos se llevan a cabo en la primera fase de la caracterización y es previa a los ensayos cinéticos. Los ensayos estáticos tienen como objetivo la descripción general de las características geoquímicas de los materiales y la evaluación del potencial de un tipo específico de roca para generar acidez, neutralizar acidez y lixiviar metales.

Existen dos tipos básicos de análisis para la determinación del potencial de ARD: el conteo ácido base (ABA), que mide el potencial de generación de acidez neto mediante la determinación independiente del contenido de generación de acidez y de neutralización; y el

procedimiento de generación de ácido neto (NAG), que genera un solo valor que indica el potencial de generación de acidez.

A pesar que los ensayos estáticos pueden determinar el potencial de generación de acidez de los materiales y los metales de preocupación, normalmente se requiere de los ensayos cinéticos para obtener la información detallada y evolución del proceso. Por eso el diseño del programa de ensayos cinéticos se basa en los resultados de los ensayos estáticos.

Los procedimientos de prueba cinéticas incluyen una serie de mediciones en el tiempo, y se utilizan para evaluar el drenaje ácido, incluyendo la reactividad del sulfuro, la cinética de oxidación, la solubilidad de metal y el comportamiento de lixiviación de los materiales, por lo tanto, indican la producción ácida y la calidad del agua del drenaje, que sirven para evaluar el tratamiento requerido y adoptar las medidas de control necesarias.

1.7.3.1 Análisis elemental

El análisis elemental se utiliza por lo general para comparar las concentraciones promedio global de los suelos con los valores presentes en los materiales a caracterizar. De esta manera se puede conocer qué elementos se encuentran enriquecidos en los materiales y que podrían ser movilizados, por lo que merecen una atención especial en la evaluación.

1.7.3.2 Análisis mineralógico

La mineralogía es esencial para la comprensión de los minerales presentes en las rocas y para los procesos que conducen a la generación de drenaje ácido en la intemperie. El análisis mineralógico debe como mínimo identificar los minerales que contienen sulfuros y carbonatos.

1.7.3.3 Conteo ácido base (ABA)

Evalúa el equilibrio entre los procesos de generación de acidez (oxidación de minerales de sulfuro) y los procesos de neutralización (disolución de los carbonatos alcalinos, desplazamiento de bases intercambiables y meteorización de silicatos). Se trata de la determinación del potencial de acidez (AP) y la capacidad neutralizante inherente (Potencial de Neutralización "NP"), ambos expresados en kg CaCO₃/tonelada.

Existen diferentes protocolos para la determinación de los parámetros AP y NP por lo que deben considerarse las limitaciones y consideraciones del protocolo utilizado.

Las especies de azufre identificadas incluyen generalmente el azufre total y sulfuro. El AP puede ser calculado utilizando el azufre total, lo que representa el cálculo más conservador; o utilizando la concentración de uno o más especies de azufre, lo que representa un estimado más específico de las especies de azufre.

Si bien la determinación del AP es relativamente simple, la determinación del NP debe analizarse con detalle, ya que dependiendo del método de determinación utilizado para su determinación, los valores representan diferentes condiciones. Por lo tanto, el protocolo para determinar el NP debe ser establecido de acuerdo a las condiciones del proyecto. Asimismo, debe utilizarse un solo protocolo a lo largo del trabajo de caracterización para poder obtener valores comparables. Los métodos de determinación de NP más utilizados son el método Sobek y el Sobek modificado, por lo que utilizar estos protocolos es provechoso para la comparación de los resultados con los obtenidos en otros estudios.

Los valores de AP y NP son combinados matemáticamente para determinar si la muestra posee potencial de generación de acidez o si por el contrario el potencial de neutralización es mayor.

La relación potencial neta (NPR) y el potencial de neutralización neta (NNP) se calculan utilizando las siguientes fórmulas:

$$\text{NPR} = \text{NP}/\text{AP} \quad (\text{kg CaCO}_3/\text{t})$$

$$\text{NNP} = \text{NP} - \text{AP} \quad (\text{kg CaCO}_3/\text{t})$$

Se preparan gráficos NP vs NP de los resultados para representar gráficamente la distribución del comportamiento de cada muestra. Pueden prepararse otros tipos de gráficos como azufre total frente a azufre sulfuro para graficar la distribución de las diferentes especies de azufre presentes en las muestras.

De acuerdo a la estequiometría de las reacciones las muestras pueden clasificarse de la siguiente manera:

- Materiales potencialmente generadores de acidez (PAG) si $\text{NP}/\text{AP} < 1$;
- Materiales sin potencial de generación de acidez (NAG) si $\text{NP}/\text{AP} > 2$; y
- Potencial incierto si NP/AP se encuentra entre 1 y 2.

Se pueden adicionar diferentes factores de seguridad a los valores presentados para atender las limitaciones o la incertidumbre de los métodos de determinación del AP y NP. Los factores de seguridad incluidos deberán ser indicados expresamente en el informe.

Una representación gráfica de AP versus NP muestra la distribución de las muestras en cada una de las categorías, las cuales estarán delimitadas por rectas con pendientes 1 y 0,5. Las muestras ubicadas en el rango sobre la recta de pendiente mayor de 1 serán las muestras PAG, aquellas muestras ubicadas bajo la recta de pendiente 0,5 serán consideradas NAG. Las muestras ubicadas entre las dos rectas se encuentran en el rango de incertidumbre.

1.7.3.4 Test de generación ácido total (NAG)

El test de NAG se utiliza en asociación con el potencial neto de neutralización (PNN) para clasificar el potencial de generación de ácido de una muestra. El test de NAG implica la reacción de una muestra con peróxido de hidrogeno para oxidar rápidamente cualquier mineral de sulfuro. Ambas reacciones de generación y neutralización de ácido se producen simultáneamente y el resultado neto representa una medida directa de la cantidad de ácido generado.

Los resultados de NAG pueden utilizarse en conjunto con los resultados de ABA para mejorar la confiabilidad de la predicción. Preparando un gráfico NAGpH (en escala logarítmica negativa) vs NPR y utilizando los valores de corte de NPR de 1,00 y de 4,5 para el NAGpH se generan cuatro sectores. Los sectores con valores de NAGpH mayores a 4,5 y NPR menores de 1,00; y valores NPR mayores de 1,00 y valores menores de NAGpH de 4,5 son considerados rangos de incertidumbre. El sector con valores de NAGpH mayores a 4,5 y NPR mayores de 1,00 incluirá las muestras sin potencial de generación de acidez. Finalmente el sector con valores de NAGpH menores a 4,5 y NPR menores de 1,00 incluirá las muestras con potencial de generación de acidez.

1.7.3.5 Ensayos de Extracción

Los ensayos de extracción de corto plazo (como ensayos de 24 h de extracción usando agua deionizada) proporcionan información sobre el potencial de lixiviación a corto plazo y a pH neutro. Debe tenerse cuidado de que las condiciones de extracción sean consistentes a lo largo del estudio para poder comparar los resultados de lixiviación.

1.7.3.6 Celdas de Humedad

Los ensayos de celda de humedad (HCT) se utilizan para validar los resultados de los ensayos estáticos (especialmente de aquellas muestras en rangos de incertidumbre), predecir la velocidad de generación de acidez, y finalmente conocer los metales que serán lixiviados.

Conjuntamente con los resultados de los ensayos estáticos, los modelos geológicos y la descripción del proyecto, los resultados de las celdas de humedad permiten realizar una predicción de la calidad de agua bajo diferentes condiciones.

Las celdas de humedad son ensayos que toman entre 24 y 50 semanas, por lo que deben iniciarse lo antes posible, ya que en el caso de la preparación de la línea base constituyen por lo general la ruta crítica.

Las celdas de humedad es un ensayo estandarizado que simula los ciclos de humectación, secado y lixiviación de los elementos liberados debido al proceso de oxidación ocurrido. El lixiviado es analizado para conocer la concentración de los diferentes componentes. Este proceso repetido a lo largo de varias semanas refleja los procesos que ocurrirán en la realidad, y dan una idea de la velocidad del proceso y secuencia de liberación de los componentes.

Un resumen de los resultados de las celdas de humedad se presenta en forma de gráficos que muestran las concentraciones de los diferentes parámetros a lo largo del tiempo que dura el ensayo. Las curvas muestran el comportamiento de las concentraciones y permiten determinar si los ensayos han concluido o si el ensayo debe continuar. Finalmente se obtienen las concentraciones estimadas de los efluentes que generarán los materiales y el desarrollo en el tiempo.

1.7.4 Referencias bibliográficas y documentos de consulta

- Australian Government – Department of Industry, Tourism and Resources (2007). *Managing Acid and Metalliferous Drainage*. Febrero 2007. Australia.
- Price (2009). Prince W.A, *Prediction Manual for Drainage Chemistry for Sulphidic Geologic Materials*. MEND Report 1.20.1, December 2009. (<http://www.mend-nedem.org/reports/files/1.20.1.pdf>)

1.7.5 Documentos de Consulta

- INAP 2010. *Global acid rock drainage guide*. Recuperado de http://www.gardguide.com/index.php?title=Main_Page
- Plumlee, G.S., and M.J. Logsdon, 1999. *An Earth-System Science Toolkit for Environmentally Friendly Mineral Resource Development*. In: G.S. Plumlee and M.J. Logsdon (Eds.), *The Environmental Geochemistry of Mineral Deposits, Part A: Processes, Techniques and Health Issues, Reviews in Economic Geology Vol. 6A*, Society of Economic Geologists, Inc., 1-27.
- Price, W.A., 1997. *Draft Guidelines and Recommended Methods for the Prediction of Metal Leaching and Acid Rock Drainage at Minesites in British Columbia*. Reclamation Section, Energy and Minerals Division, Ministry of Employment and Investment, Smithers, BC.

1.8 Sismotectónica

1.8.1 Alcance

La sismotectónica es el estudio de la relación entre los terremotos, la tectónica activa y las fallas individuales de una región. Este factor posee principalmente una influencia en los diseños del proyecto, y su caracterización busca obtener los parámetros que permitan diseñar el proyecto de manera que la infraestructura pueda soportar los sismos y minimizar los riesgos de un proyecto.

1.8.2 Metodología

1.8.2.1 Revisión de Información Secundaria

La información secundaria debe seguir los lineamientos del Capítulo 1.0. Fuentes importantes de información secundaria son:

- Publicaciones y artículos The United States Geological Survey (Eartquake) www.usgs.gov
- Publicaciones y artículos del Instituto Geofísico del Perú www.igp.gob.pe
- Publicaciones y artículos de la Sociedad Geológica del Perú www.sgp.org.pe
- Publicaciones y artículos del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET) www.ingemmet.gob.pe
- Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID) www.cismid-uni.org

1.8.2.2 Trabajo de Campo

Debido a que los estudios sismotectónicos requieren del uso intensivo de instrumentos de medición (sismógrafos), tecnología espacial (GNSS e InSAR) y herramientas sofisticadas de procesamiento y análisis de la información, algunas de las cuales incluso operan en tiempo real (monitoreando fallas activas), éstos no pueden ser parte de una línea base. El capítulo de sismotectónica debe ser desarrollado básicamente como una síntesis de la información secundaria disponible.

1.8.2.3 Evaluación y Análisis de Resultados

Una forma de conocer el probable comportamiento sísmico de un lugar es mediante la evaluación del peligro sísmico en términos probabilísticos, es decir predecir las posibles aceleraciones que podrían ocurrir en un lugar determinado.

Para evaluar el riesgo sísmico se tomará en cuenta el Mapa de Distribución de Máximas Intensidades Sísmicas Observadas, publicado en 2003 por la Comisión Multisectorial de Reducción de Riesgos en el Desarrollo (CMRRD). Este mapa grafica a nivel nacional la zonificación de las máximas intensidades sísmicas observadas, tomando en consideración la escala modificada de Mercalli (MM), la cual clasifica los terremotos por el nivel de daño que causa en la infraestructura y, por ende, en las personas.

La evaluación probabilística de la sismicidad local debe realizarse para períodos de retorno diferentes de acuerdo a los horizontes del proyecto, y se deben calcular los valores de aceleración para los periodos de retorno establecidos.

Los resultados de estos estudios se utilizan en el diseño de obras civiles, puesto que permiten estimar las fuerzas probables a las que se someterá una estructura en un determinado lugar, en caso de un evento sísmico.

1.8.2.4 Representación espacial

La amenaza sísmica generalmente se representa mediante mapas con curvas de isoaceleración para diferentes períodos de retornos, mostrando su comportamiento en función de las fuentes sísmicas.

1.8.3 Referencias bibliográficas y documentos de consulta

- Castillo, J., & Alva, J. (1993). Peligro sísmico en el Perú. En *VII Congreso Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones* (pp. 409-431), Lima.
- Pérez, B. (2014). La peligrosidad sísmica y el factor de riesgo. *Informes de la Construcción*, 66: 534.
- Bernal, I.; Tavera, H. & Antayhua, Y. (2001). Evaluación de la sismicidad y distribución de la energía sísmica en Perú. *IGP Boletín de la Sociedad Geológica del Perú*, 92: 67-78.
- Bernal, I., & Tavera, H. (2002). *Geodinámica, sismicidad y energía sísmica en Perú*. Lima, Perú: IGP.
- Tavera, H., & Buforn, E. (1998). Sismicidad y sismotectónica de Perú. *Física de la Tierra*, 10: 187.
- Chávez, J. (1975). *Regionalización Sísmica del Perú Mediante Intensidades*. Tesis de doctorado. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Zhenming Wang. (2006) *Understanding Seismic Hazard and Risk Assessments: An Example in the New Madrid Seismic Zone of the Central United States*. San Francisco: Eight U.S. National Conference on Earthquake Engineering.

1.9 Hidrogeología

1.9.1 Alcance

El agua subterránea es un componente importante en muchos proyectos, en especial aquellos donde hay remoción de grandes cantidades de material y existen instalaciones que pueden liberar componentes o metales al subsuelo y éstos pueden alcanzar al agua subterránea. En estos casos un estudio hidrogeológico es fundamental para poder evaluar los impactos, ya que los cambios en la hidrogeología de un área afecta los demás componentes ambientales.

1.9.2 Metodología

1.9.2.1 Revisión de información secundaria

La revisión de la información secundaria debe seguir los lineamientos del Capítulo 1.0. En el caso de estudios hidrogeológicos, la principal información secundaria a revisar serán los aspectos climáticos e hidrográficos, como las características geológicas, información piezométrica y de flujo base. Una fuente importante de información geológica es el INGENMET. La información hidrogeológica es mucho más escasa, sobre todo en lugares remotos sin actividad previa. En el caso de proyectos mineros, los registros de las perforaciones son una fuente importante de información.

1.9.2.2 Trabajo de campo

1.9.2.2.1 Planificación del trabajo de campo

Adicionalmente a los lineamientos generales del Capítulo 1.0, deberá tenerse en cuenta en lo que corresponda, los protocolos establecidos por las diferentes entidades públicas y sectores competentes como ANA (ANA, 2016).

Para poder realizar el trabajo de campo deberá conocerse primero las características climatológicas, hidrográficas y geológicas. Específicamente se debe conocer las unidades litológicas y la geología superficial local. En campo se confirmará la geología y otros aspectos importantes del área que jueguen un papel importante en las características hidrogeológicas.

Las principales actividades de campo son las siguientes:

- Inventario de manantiales;
- Inventario de pozos;
- Prospección geofísica;
- Instalación de pozos de monitoreo de agua subterránea;
- Ensayos de conductividad hidráulica;
- Monitoreo de agua subterránea

Esta lista es referencial, dependiendo de las características del proyecto (escala, potencial de generación de impactos ambientales, entre otros) y del área de estudio (existencia de áreas sensibles, presencia de agua superficial o niveles freáticos profundos) se deberá evaluar la necesidad de realizar cada tarea. Asimismo, pueden existir casos donde deban llevarse a cabo actividades especiales no mencionadas. En todo caso, debe asegurarse que con las actividades realizadas se obtendrá la información necesaria para poder evaluar los posibles impactos ambientales del proyecto.

1.9.2.2.2 Inventario de manantiales

Los manantiales pueden reflejar puntos de descargas de agua subterránea, por lo que son una fuente importante de información por varios motivos. En primer lugar indican niveles freáticos en las áreas donde se ubican, así como representan la calidad del agua subterránea en ese sector. Asimismo representan en algunos casos usos importantes de agua subterránea por parte de las poblaciones.

La identificación de manantiales puede verse facilitada mediante el uso de imágenes satelitales o fotografías aéreas, sobre todo si son de la época de estiaje, ya que la vegetación presente es una señal inequívoca de presencia de agua.

El inventario deberá recoger no sólo su ubicación, sino también su flujo, de ser necesario la calidad del agua. En caso de tener uso, se deberá recoger también el tipo de uso y su volumen y régimen de explotación.

1.9.2.2.3 Inventario de Pozos

Los pozos construidos y en uso son una fuente valiosa de información. Estos pozos brindan información de niveles freáticos, acuíferos, desarrollo de los niveles freáticos en el tiempo, calidad del agua subterránea y cantidad de agua subterránea utilizada por poblaciones o actividades productivas del lugar.

1.9.2.2.4 Prospección Geofísica

Los métodos geofísicos, especialmente los eléctricos pueden ser utilizados para conocer las condiciones hidrogeológicas, especialmente características de porosidad de roca, presencia de agua, salinidad del agua presente, entre otras. La prospección geofísica puede ayudar por ejemplo a delimitar las áreas de trabajo o establecer los puntos donde se instalarán pozos de monitoreo de agua subterránea.

1.9.2.2.5 Instalaciones de pozos de monitoreo de agua subterránea

Si bien en el caso de estudios hidrogeológicos, los puntos de muestreo pueden ser algunos manantiales, deben construirse pozos de monitoreo de agua subterránea, cuya ubicación será determinada por el especialista en función de las características del proyecto y del área en que se desarrolla.

1.9.2.2.6 Pruebas hidráulicas

Una vez instalados los pozos y dependiendo de las características del proyecto se llevan a cabo ensayos de conductividad hidráulica para obtener las propiedades hidráulicas de la red de pozos de monitoreo instalados. Los ensayos pueden ser estáticos o dinámicos; entre los ensayos que se pueden llevar a cabo están ensayos de "Slug Test" donde se desplaza un volumen de agua con barras prefabricadas y se observa los cambios en los pozos de preferencia registrando los cambios preferentemente utilizando un transductor de lectura automática. Otro tipo de ensayo son los aquellos de recuperación, donde se deprime el nivel freático mediante bombeo y se registra el tiempo de recuperación del nivel freático.

1.9.2.2.7 Monitoreo de agua subterránea

El monitoreo debe seguir los lineamientos de aseguramiento y control de calidad generales del Capítulo 1.0.

Parámetros

Existen dos parámetros importantes en la caracterización de aguas subterránea, el nivel freático y la calidad de agua. Los parámetros de calidad de agua subterránea deben permitir caracterizar el tipo de agua y su relación con la geología, así como su influencia en cuerpos de agua superficiales o fuentes de agua. No existen estándares de calidad ambiental para agua, además los ECA para agua se expresan en concentraciones totales, mientras que para agua subterránea parámetros disueltos tiene más sentido. Los valores de ECA para agua u otros valores internacionales pueden usarse de manera referencial, pero no debe evaluarse cumplimiento.

Frecuencia

La estacionalidad juega un papel en hidrogeología. Los niveles de agua subterránea varían con las estaciones, así como la calidad del agua subterránea. Sin embargo, los cambios no son tan rápidos como aquellos que se pueden apreciar en agua superficial, por lo que esto debe ser considerado en la frecuencia del monitoreo/muestreo.

La frecuencia deberá considerar la estacionalidad y la baja velocidad de los cambios de la calidad de agua subterránea. Si bien la medición de nivel freático puede llevarse a cabo incluso con equipos que registren el nivel freático en tiempo real, la toma de muestras para calidad de agua no deberían tener una frecuencia elevada, pudiendo incluso ser trimestral o semestral.

1.9.2.3 Evaluación y Análisis de Resultados

Como parte de la evaluación y el análisis de resultados y dependiendo de las características del proyecto se puede:

- Determinar las unidades hidrogeológicas;
- Determinar los parámetros hidráulicos (permeabilidad, porosidad, coeficiente de almacenamiento);
- Definir la dirección del flujo subterráneo y gradientes hidráulicos;
- Analizar la influencia de estructuras geológicas sobre el flujo subterráneo;
- Establecer las áreas de recarga y cuantificar la recarga del sistema hidrogeológico;
- Cuantificar el volumen de las reservas almacenadas; y
- Determinar el flujo base.

Posteriormente con la información obtenida se preparará el modelo conceptual de agua subterránea.

Para la calidad de agua subterránea deberá establecerse los tipos de agua. La preparación de diagramas de *Stiff*, *Piper*, *Schoeller* y de cajas puede utilizarse para la representación gráfica de los resultados de los análisis de laboratorio.

1.9.2.4 Representación espacial

Los mapas a preparar podrán ser entre otros:

- Mapas geológicos (local superficial y basamento);
- Mapa del inventario de manantiales;
- Mapa de inventario de pozos;
- Mapa hidrogeológico;
- Mapa de niveles de agua subterránea y dirección de flujos de agua subterránea;
- Modelo hidrogeológico conceptual; y

- Representación gráfica de hidroquímica.

Los mapas deberán estar a una escala que permita ver las instalaciones y la información que se representa.

1.9.3 Referencias bibliográficas y documentos de consulta

- ANA (2016). Autoridad Nacional del Agua. *Términos de Referencia Comunes del contenido hídrico que deberán cumplirse en la elaboración de los estudios ambientales*. Resolución Jefatural N° 090-2016-ANA.

1.10 Calidad de Agua

1.10.1 Alcance

Algunos proyectos pueden generar un cambio en la calidad del agua, aumentando la concentración de algunos parámetros o contaminantes en el agua. A continuación se describen los lineamientos para la caracterización de la calidad de agua en el área de estudio y su comparación con estándares de calidad ambiental.

1.10.2 Metodología

1.10.2.1 Revisión de Información Secundaria

La revisión de la información secundaria debe seguir los lineamientos del Capítulo 1.0.

1.10.2.2 Trabajo de Campo

1.10.2.2.1 Planificación del trabajo de campo

Adicionalmente a los lineamientos generales del Capítulo 1.0, deberá tenerse en cuenta en lo que corresponda, los protocolos establecidos por las diferentes entidades públicas y sectores competentes como ANA (ANA, 2016).

1.10.2.2.2 Estaciones de muestreo/monitoreo

La selección de los puntos de muestreo/monitoreo deben seguir los lineamientos generales expresados en el Capítulo 1.0.

La extensión del área en la que se establecerán los puntos de muestreo/monitoreo debe ser establecida tomando en cuenta las características del proyecto y su área de operación, pero también pueden considerarse aspectos sociales como percepciones.

1.10.2.2.3 Estacionalidad

La estacionalidad juega un papel importante en la calidad del agua. El agua de las lluvias conjuntamente con el tipo de suelo influye en la calidad del agua durante esta época. Asimismo en lugares con periodos largos de estiaje, ciertos componentes pueden acumularse sobre la superficie, y llegan a los cuerpos de agua con las primeras lluvias fuertes que generan escorrentía superficial, aumentando las concentraciones de ciertos componentes. Por estas razones es importante tener en cuenta la estacionalidad para el diseño del trabajo de campo.

1.10.2.2.4 Frecuencia

La frecuencia en caso de planes de muestreo deberá considerar aquellas determinadas en la normativa vigente y la estacionalidad. Deberá considerar mediciones representativas de las épocas del año (época seca y de lluvias como mínimo) y de ser necesario, de épocas singulares del ciclo hidrológico como puede ser las primeras lluvias fuertes cuando se produce el “primer lavado”.

En el caso de programas de monitoreo, se debe establecer la frecuencia de manera tal que se puedan registrar los cambios anticipados de la calidad de agua debido a la estacionalidad observada en el área de estudio.

1.10.2.2.5 Parámetros

La elección de los parámetros debe enfocarse en los parámetros regulados por la normatividad (MINAM, 2017) y en aquellos parámetros que están directamente relacionados con las actividades a desarrollar a lo largo del ciclo de vida del proyecto, de acuerdo a lo establecido en las normas ambientales vigentes.

Debe considerarse para la elección de los parámetros la categorización de los cuerpos de agua a caracterizar, así como los usos reales de sus aguas. De manera referencial el protocolo de la ANA (ANA, 2016) recomienda algunos parámetros por categoría.

1.10.2.2.6 Métodos de muestreo y análisis

Algunos tipos de toma de muestra y de muestras que pueden utilizarse para la caracterización de aguas superficiales se encuentran mencionados en el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales (ANA, 2016). En caso se utilicen otros tipos de muestras u otro tipo de método de toma de muestra deberán explicarse expresamente en el informe de línea base.

Para la selección de los métodos de análisis debe tenerse en cuenta los siguientes criterios técnicos, de acuerdo a sus definiciones reconocidas internacionalmente (UN, 2012):

- **Selectividad.** El método debe poder determinar el elemento a medir en una mezcla compleja sin interferencia de los demás componentes de la mezcla.
- **Límite de detección.** Contenido mínimo de un elemento o compuesto que puede registrarse con un grado razonable de certeza estadística, es decir que se puede determinar que está presente.
- **Límite de Cuantificación.** Mínima concentración o masa de analito que ha sido validada con una exactitud aceptable aplicando el método analítico completo.
- **Sensibilidad.** Capacidad del método de determinar cambios de concentraciones del elemento a medir.
- **Exactitud y precisión.** Exactitud del método de obtener un resultado verdadero. La precisión es el grado de acuerdo de los resultados independientes

Especialmente importante es asegurar que los límites de detección y cuantificación de los análisis sean menores que los valores que se utilizarán para la evaluación, como los ECA para agua. Debe tenerse en cuenta para esta evaluación que los límites de detección y cuantificación dependen de la matriz en la que son analizados.

1.10.2.2.7 QA/QC del muestreo/monitoreo

El control y el aseguramiento de la calidad de la obtención de datos deben seguir los lineamientos generales mencionados en el Capítulo 1.0.

1.10.2.3 Evaluación y Análisis de Resultados

Dependiendo de la cantidad de datos obtenidos, es importante que se preparen estadísticas de los datos. Además de valores máximos, mínimos y promedios, los valores del percentil 90 y percentil 10 son importantes para poder evaluar si los valores máximos o mínimos representan comportamientos regulares.

El uso de tablas y gráficas mostrando parámetros estadísticos y su relación con Estándares de Calidad Ambiental (ECA) es un apoyo importante para la representación de los resultados; teniendo en cuenta que algunas de estas herramientas no deben utilizarse si sólo se cuenta con un número reducido de datos.

La evaluación básica de los resultados de la calidad de agua debe incluir el cumplimiento o no con los ECA para agua. Además dependiendo del tipo de proyecto y el área de estudio se pueden realizar otras evaluaciones. Se pueden preparar Diagramas de Stiff (Stiff, 1951), Diagramas de Piper (Piper, 1953) u otros.

El Diagrama de Stiff permite mostrar de manera gráfica las relaciones entre iones presentes en el agua y ayuda a visualizar diferentes tipos de agua, así como los cambios que éstas pueden sufrir por cambios estacionales o en el tiempo.

El Diagrama de Piper incluye aniones y cationes en forma simultánea permitiendo agrupar muestras geoquímicamente similares y apoyar en el análisis de las relaciones de los cuerpos de agua en el área de estudio.

1.10.2.4 Representación espacial

Se debe presentar mapas de ubicación de puntos de muestreo de calidad del agua a una escala adecuada, en coordenadas UTM y en el sistema WGS 84, de tal manera que se puedan visualizar los componentes del proyecto, los puntos de monitoreo/muestreo y su ubicación respecto a poblaciones cercanas o áreas sensibles identificadas. Asimismo, de considerarse de utilidad, puede incluirse un mapa topográfico del área.

1.10.3 Referencias bibliográficas y documentos de consulta

- ANA - Autoridad Nacional del Agua (2016). *Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales* (R.J N° 010-2016-ANA).
- MINAM (2017). *Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias*. D.S. N° 004-2017-MINAM.
- Piper, A.M. (1953). *A Graphic Procedure in the Geochemical Interpretation of Water Analysis*. USGS. Washington D.C.:
- Stiff, H.A., Jr., (1951), *The interpretation of chemical water analysis by means of patterns*: Journal of Petroleum Technology, v. 3. no. 10, section 1: p15,16 and section 2: p3.
- UN, 2012. *Glosario de término sobre garantía de calidad y buenas prácticas de laboratorio*. Naciones Unidas, Nueva York 2012.

1.11 Geomorfología

1.11.1 Alcance

La Geomorfología es la ciencia del relieve terrestre, entendido este último como el conjunto de formas que caracterizan la superficie sólida de la Tierra, ya sea emergida de los océanos o sumergida bajo estos. La topografía constituye una representación del relieve emergido mientras que la batimetría es una representación del relieve sumergido. Pero la geomorfología va más allá de la representación o descripción del relieve: esta ciencia busca comprender los procesos que han dado lugar (producido, configurado) a las distintas formas que integran el relieve así como aquellos procesos que siguen actuando sobre estas formas, proporcionando así un panorama dinámico del relieve.

1.11.2 Metodología

1.11.2.1 Revisión de Información Secundaria

La revisión de la información secundaria debe seguir los lineamientos del Capítulo 1.0.

1.11.2.2 Límites de la descripción

A continuación se establecen esos límites:

La descripción del relieve debe avanzar desde la escala regional hacia la local sin perder de vista su carácter panorámico, general e ilustrativo. Es decir, esta descripción debe evitar el detalle excesivo y el uso de terminología muy especializada.

Si bien se necesita cierta referencia al origen y naturaleza de las formas de relieve identificadas así como a la edad de estas, no se debe profundizar en el análisis morfogenético (origen de las formas) y morfocronológico (datación de las formas), que puede requerir trabajo de campo intensivo y aplicación de técnicas avanzadas.

La evaluación de los aspectos morfodinámicos (geodinámica externa) debe tener también un carácter general, centrado en los procesos que afectan o moldean el relieve actual, con énfasis en los mecanismos normales más que en los eventos extraordinarios que pueden desencadenar estos procesos.

En suma, la evaluación geomorfológica debe desarrollarse a escalas intermedias, es decir, a niveles de reconocimiento y semi-detalle. De ser necesario, por las características del proyecto en evaluación, o de algunos de sus componentes, efectuar una evaluación geomorfológica detallada, esta debe integrarse a la evaluación geotécnica, que por sus objetivos y métodos siempre se desarrolla a nivel detallado. Del mismo modo, si se identifican peligros significativos asociados a eventos de naturaleza morfodinámica, estos tienen que ser evaluados en detalle en un capítulo específico (Peligros Morfodinámicos).

1.11.2.3 Enfoque

El capítulo de Geomorfología debe ser elaborado a partir de una evaluación estructurada en una secuencia de tres tipos de análisis:

- a. Análisis morfométrico. Consiste en describir cuantitativamente el relieve, con base en mediciones de pendientes, cotas de elevación, orientaciones, disecciones (red de drenaje), entre otras variables.
- b. Análisis morfogenético. Consiste en identificar los procesos o eventos que han dado lugar a las formas actuales del relieve, con base en interpretaciones morfoestructurales (evolución estructural o tectónica del relieve) y morfoclimáticas (influencia del clima y otros factores externos en el relieve).
- c. Análisis morfodinámico. Consiste en identificar y evaluar los procesos y eventos que vienen actuando en el presente sobre el relieve, modificándolo con diferentes intensidades o tasas de cambio a lo largo del tiempo.

Tomando en cuenta los alcances del capítulo, los análisis morfogenético y morfodinámico deben efectuarse en forma de interpretaciones cualitativas a cargo del especialista.

1.11.2.4 Procedimiento

Se propone el siguiente procedimiento general para la elaboración del capítulo, tomando en cuenta la secuencia de análisis establecida. Debe remarcarse que este procedimiento es adecuado para evaluaciones de mediano detalle, teniendo en cuenta los alcances señalados. Las evaluaciones geomorfológicas detalladas, de requerirse, serán tratadas en el capítulo de Geotecnia.

- a. Análisis morfométrico. Con base en un modelo digital de elevación (DEM) o sobre la cartografía topográfica disponible del área de evaluación, se deben elaborar los siguientes mapas o modelos del relieve: hipsográfico (altitudes), de pendientes (se recomienda que sea coherente con el mapa de suelos), de aspecto (orientación), de red de drenaje (incluyendo con agua y sin agua), de disección vertical y de disección horizontal (densidad de drenaje). Para esta tarea, es preferible, por su eficiencia y precisión, el empleo de programas informáticos de cartografía y SIG, así como criterios de integración temática geoespacial.
- b. Interpretación morfográfica. El análisis morfogenético tienen como finalidad facilitar una primera interpretación geomorfológica del relieve estudiado. Esta primera interpretación suele denominarse morfográfica, por su carácter descriptivo. Se hace notar que en este nivel todavía no se individualizan las formas específicas del relieve.
- c. Identificación de formas específicas del relieve. Esta tarea debe efectuarse mediante dos actividades complementarias: (1) la interpretación de imágenes de satélite o fotografías aéreas apropiadas para la escala de evaluación, y (2) el reconocimiento de campo. Ambas actividades deben evitar el análisis detallado y, en el caso del trabajo de campo, emplear exclusivamente técnicas de observación. El resultado final es un mapa de formas del relieve (geoformas).

- d. Análisis morfogenético. Una vez identificadas las formas del relieve, se procede a evaluar su naturaleza, es decir, a identificar la forma en que se originaron y evolucionaron, y estimar referencialmente su edad. Una primera aproximación a estos temas, que es todo lo que se necesita en la LBF, se logra por medio de la interpretación de los mapas geológicos, de la historia geológica y de la historia climática de la zona.
- e. Identificación de procesos morfodinámicos. Del mismo modo en que se identifican las formas específicas del relieve, la identificación de procesos morfodinámicos también se basa en la interpretación de imágenes de satélite complementada con el reconocimiento de campo. Pero en este caso, se debe tener especial cuidado en diferenciar entre procesos inactivos y activos, pues ambos suelen tener manifestaciones actuales que deben ser convenientemente evaluadas y distinguidas. El resultado final es un mapa de procesos morfodinámicos actuales.

1.11.2.5 Representación espacial

- Elaboración del mapa geomorfológico. Presenta de manera integrada tres tipos de información: las pendientes (en rangos), las formas específicas del relieve y los procesos morfodinámicos actuales. Esta integración debe hacerse de manera que el mapa no pierda legibilidad.
- Elaboración del mapa de estabilidad física. El mapa de estabilidad física debe elaborarse a partir de la interpretación de los mapas geológico y geomorfológico, ambos a la misma escala, tomando como referencia estudios diversos (de peligro sísmico, geotécnicos, de peligros morfodinámicos). Este mapa debe reflejar no solo las condiciones físicas actuales (sin proyecto) sino también el comportamiento esperado en escenarios de interés para la evaluación de impactos, sin involucrar directamente al proyecto (por ejemplo, un escenario de pérdida de cobertura vegetal).

1.11.3 Referencias bibliográficas y documentos de consulta

- Aguiló Alonso et al. 2004. Guía para la Elaboración de Estudios del Medio Físico. Contenido y Metodología. 5ta reimpresión. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid.
- De Pedraza, Javier. 1996. Geomorfolología. Principios, Métodos y Aplicaciones. Editorial Rueda. Madrid.
- Bocco, Gerardo et al. 2009. La Cartografía de los Sistemas Naturales como Base Geográfica para la Planeación Territorial. Serie Planeación Territorial. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT). Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, Universidad Nacional Autónoma de México, Campus Morelia. México.
- Villota, Hugo. 2005. Geomorfolología Aplicada a Levantamientos Edafológicos y Zonificación Física de Tierras. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Bogotá.
- Zinck, J.A. 2012. Geopedología. Elementos de Geomorfolología para Estudios de Suelos y de Riesgos Naturales. ITC Special Lecture Notes Series. ITC, Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation. Enschede.

- Robertson, Kim G. et al. 2013. Guía Metodológica para la Elaboración de Mapas Geomorfológicos a Escala 1:100 000. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental. Bogotá.
- Peña Monné, José Luis (coord.). 1997. Cartografía Geomorfológica Básica y Aplicada. Geoforma Ediciones. Logroño.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). 2009. Manual Técnico de Geomorfologia. 2a Edición. Manuais Técnicos em Geociências. Diretoria de Geociências. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. Río de Janeiro.
- Lugo Hubp, J. 1988. Elementos de Geomorfología Aplicada. Métodos Cartográficos. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. México.

1.12 Suelos

1.12.1 Alcance

El suelo es un ente natural formado a partir de la roca madre, resultado de una serie de procesos de transformación físico-químicas que actúan sobre su composición (minerales, humus, gases, agua, soluciones, etc.). Sus características constituyen el resultado de un largo proceso donde progresivamente se viene estableciendo un equilibrio con las condiciones naturales.

El suelo es un componente importante que determina las características de otros componentes físicos y componentes biológicos, así como de actividades económicas. La caracterización del suelo es importante también para poder diseñar medidas de remediación ambiental.

La caracterización del suelo debe llevarse a cabo considerando aspectos de clasificación edafológica, de productividad y por último su relación con los ECA para suelos.

1.12.2 Metodología

1.12.2.1 Revisión de Información Secundaria

La revisión de la información secundaria debe seguir los lineamientos del Capítulo 1.0.

1.12.2.2 Trabajo de Campo

1.12.2.2.1 Planificación del trabajo de campo

Adicionalmente a los lineamientos generales del Capítulo 1.0, deberá tenerse en cuenta en lo que corresponda, los protocolos establecidos por las diferentes entidades públicas y sectores competentes como MINAM (MINAM, 2017).

Para la realización de cualquier tipo de muestreo, previamente se debe elaborar un plan de muestreo que contenga la información y programación relacionada con los objetivos del muestreo.

Para el plan de muestreo de suelos, es necesario definir claramente los objetivos que permitan un óptimo proceso de levantamiento de información necesaria para la descripción del sitio, definiendo: i) el área en que se focalizarán los esfuerzos de muestreo, ii) objetivos del plan de muestreo, iii) los tipos de muestreo según los objetivos definidos, iv) la determinación de la densidad y posición de puntos de muestreo, v) los procedimientos de campo, vi) los métodos de conservación de muestras y vii) las necesidades analíticas a desarrollarse.

Es importante que se recopile y revise la información geológica del área de estudio, así como de existir, revisar imágenes de satélite para poder establecer una configuración preliminar del relieve del terreno, que ayudará a establecer los probables sitios de muestreo de suelos con el fin de realizar la caracterización edafológica.

1.12.2.2.2 Estaciones de muestreo

La selección de los puntos de muestreo/monitoreo deben seguir los lineamientos generales expresados en el Capítulo 1.0.

La extensión del área en la que se establecerán los puntos de muestreo/monitoreo debe ser establecida tomando en cuenta las características del proyecto y su área de operación, consideraciones de autoridades (MINAM 2017), pero también pueden considerarse aspectos sociales como percepciones, e incluir áreas consideradas importantes para las comunidades.

Las estaciones de muestreo definitivas se seleccionan en el campo a partir de la información obtenida durante la fase de preparación del trabajo de campo y las condiciones encontradas en el lugar.

1.12.2.2.3 Estacionalidad

La estacionalidad no juega un papel importante en los suelos.

1.12.2.2.4 Frecuencia

La caracterización de los suelos se realiza una sola vez en la línea base.

1.12.2.2.5 Parámetros / Variables a considerar

En lo relativo a los ECA para suelos, la elección de los parámetros debe enfocarse en aquellos regulados por la normatividad (MINAM, 2017) y específicamente en aquellos parámetros que están directamente relacionados con las actividades a desarrollar.

1.12.2.2.6 Métodos de muestreo

El método de muestreo más común para la caracterización edafológica es la apertura de calicatas georreferenciadas en sitios representativos.

Se obtienen los perfiles del suelo describiendo los horizontes genéticos presentes en las calicatas realizadas. Para nombrar los estratos, se recomienda utilizar la nomenclatura establecida por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (2014). Para realizar la descripción de las propiedades del perfil conviene utilizar lo establecido por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (1993) que incluye textura, profundidad, color, estructura, presencia y cantidad de fragmentos gruesos, consistencia, raíces, límites de horizonte, drenaje y permeabilidad. También apoya la determinación de características externas del suelo como pendiente, relieve, erosión, vegetación, altitud y pedregosidad superficial.

Una vez establecido el perfil se deben tomar muestras de capas y horizontes representativos para su análisis.

Para la caracterización relacionada a concentraciones de parámetros relacionados al cumplimiento de los ECA de suelos pueden considerarse aquellas propuestas por las autoridades (MINAM, 2017). Asimismo, este documento señala el manejo de las muestras y algunas medidas de aseguramiento y control de calidad. Esto debe ser complementado con lo establecido en el Reglamento para la ejecución de Levantamiento de Suelos (Decreto Supremo N° 013-2010-AG).

1.12.2.3 Evaluación y análisis de resultados

Las muestras de suelos obtenidas para caracterización edafológica deberán analizarse en laboratorio por los parámetros identificados como necesarios para la caracterización del suelo. Entre otros los parámetros a analizar son:

- Textura;
- Conductividad eléctrica;

- pH;
- Contenido calcáreo total;
- Fósforo disponible;
- Potasio disponible;
- Capacidad de intercambio iónico; y
- Bases cambiables.

Se recomienda efectuar la interpretación de los resultados de campo y de los análisis siguiendo las pautas establecidas por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (1993, 2012), las características eco-geográficas del lugar y la experiencia profesional.

Se recomienda realizar la clasificación natural de los suelos utilizando las pautas establecidas por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (2014), utilizando la información de campo, los resultados de los análisis de laboratorio y los datos climatológicos de temperatura y precipitación.

Si bien según esta clasificación, existen seis categorías taxonómicas: orden, suborden, gran grupo, subgrupo, familia y serie, los trabajos pueden sólo llegar hasta categorías más generales como subgrupo.

Para el caso de calidad de suelos, se debe trabajar a nivel detallado y a nivel de serie de suelos.

Asimismo, debe realizarse la Clasificación de Tierras por su capacidad de Uso mayor de conformidad con el Decreto Supremo N° 017-2009-AG, para lo que se requerirá, además de la información arriba mencionada, las zonas de vida tanto del área local como regional. Esta clasificación expresa el uso adecuado de las tierras para fines agrícolas, pecuarios, forestales o de protección y se basa en el Reglamento de Clasificación de Tierras establecido por el Ministerio de Agricultura (2009). Este sistema comprende tres categorías de clasificación: grupo, clase y subclase.

Complementariamente, es preciso contar con la clasificación de uso actual de la tierra de acuerdo sugiriéndose el Sistema de Clasificación de la Tierra Wluc (World Land Use System de la UGI (Unión Geográfica Internacional) o la de CORINE Land Cover (2006).

Para determinar los conflictos de uso de tierras se toman en consideración las coberturas de capacidad de uso mayor o la zonificación de suelos aprobado versus la cobertura de uso actual. Para la evaluación respecto a los ECA para suelos, la evaluación se deben considerar los parámetros y valores regulados por la normatividad (MINAM, 2017)

1.12.2.4 Representación espacial

Presentar mapas de ubicación de puntos de muestreo de suelo a una escala adecuada, de tal manera que se puedan visualizar los componentes del proyecto, los puntos de muestreo y su ubicación respecto a poblaciones cercanas o áreas sensibles identificadas.

Para efectos de la confección del mapa de suelos, se pueden utilizar las unidades cartográficas de consociación y asociación, dado que las unidades taxonómicas no pueden ser representadas en un mapa.

1.12.3 Referencias bibliográficas y documentos de consulta

- MINAGRI (2009). *Reglamento de Clasificación de Tierras por su capacidad de Uso mayor*. D.S. N° 017-2009-AG

- MINAGRI (2010). *Reglamento para la Ejecución de Levantamiento de Suelos*. D.S. N° 013-2010-AG
- MINAM (2017). *Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo*. D. S. N° 011-2017-MINAM

1.13 Hidrología

1.13.1 Alcance

El agua es sin lugar a dudas el aspecto más importante en la gran mayoría de los proyectos, en especial si en el lugar donde se desarrolla el proyecto existen otros usuarios de agua. La correcta caracterización del área de estudio en aspectos de cantidad y calidad de agua es fundamental para poder realizar una evaluación de impactos apropiada. Por lo tanto la determinación de los parámetros climáticos y meteorológicos, caudales, balances hídricos, usos de agua y su calidad son imprescindibles en el estudio de línea base.

1.13.2 Metodología

1.13.2.1 Revisión de información secundaria

La revisión de la información secundaria debe seguir los lineamientos del Capítulo 1.0. En el caso de estudios hidrológicos, la principal información secundaria a revisar serán los registros del SENAMHI, la ANA, en especial el SNIRH, y la información existente y pública de proyectos de aprovechamiento hídrico y energéticos.

1.13.2.2 Trabajo de campo

1.13.2.2.1 Planificación del trabajo de campo

Adicionalmente a los lineamientos generales del Capítulo 1.0, deberá tenerse en cuenta en lo que corresponda, los protocolos generales establecidos por las diferentes entidades públicas y sectores competentes como ANA (ANA, 2016) y específicos como ANA (2015, 2016a, 2016b).

A diferencia de otras disciplinas, la determinación de parámetros hidrológicos requiere de data que cubra un periodo extenso, por lo que el trabajo de campo, en especial el relacionado a caudales, busca establecer el programa de obtención de datos para el futuro y para confirmar o relacionar algunos parámetros a los cálculos realizados con series de datos secundarios.

1.13.2.3 Trabajo de Campo

La primera decisión que se deberá tomar es si la línea base se preparará en función a un programa de muestreo o de monitoreo, es decir con toma de muestras o mediciones puntuales o periódicas respectivamente. Proyectos con bajo potencial de generar impactos o ubicados en ambientes sin cambios significativos temporales o proyectos donde el aspecto de cantidad de agua no sea importante pueden prepararse con un programa de muestreo. Por otro lado, proyectos de mayor significancia ambiental o en ambientes sensibles o cambiantes, un programa de monitoreo para la línea base sería más apropiado.

1.13.2.3.1 Planificación del trabajo de campo

El diseño y planificación del trabajo de campo dependen de una serie de factores, entre los que se encuentran los parámetros a medir, la estrategia de obtención de datos, el equipo y metodología a utilizar, la calidad de la data a obtener, el tipo de proyecto, y la disponibilidad de recursos, así como la accesibilidad al sitio.

Asimismo, deberán tenerse en cuenta los protocolos establecidos por las diferentes entidades públicas y sectores competentes como ANA, DIGESA, MINEM u otras entidades estatales o internacionales, etc. dependiendo del sector al que pertenece el proyecto.

El plan de trabajo de campo debe considerar los siguientes factores en el diseño del programa de muestreo o monitoreo:

- Extensión y escala del plan reflejado en el número y ubicación de las estaciones;
- Parámetros;
- Equipos y métodos;
- Frecuencia; y
- Salud y seguridad.

1.13.2.3.2 Estaciones de muestreo/monitoreo

La selección de los puntos de muestreo/monitoreo debe tener en cuenta por lo menos los siguientes aspectos:

- Lugares que brinden información relevante para cálculos de parámetros importantes o que sirvan para calibración de posibles modelos a preparar;
- Lugares con uso de agua importante;
- Lugares con receptores ambientales sensibles;
- Lugares con presencia de poblaciones;
- Ubicación de las instalaciones o de actividades del proyecto;
- Accesibilidad y seguridad.

La extensión del área en la que se establecerán los puntos de muestreo/monitoreo debe ser establecida tomando en cuenta las características del proyecto y su área de operación, pero también pueden considerarse aspectos sociales como percepciones.

En algunos casos pueden construirse estructuras para la medición de caudales, e incluso incluir la instalación de equipos de medición en línea. Deberá planificarse correctamente la construcción de estas estructuras y obtener los permisos correspondientes.

1.13.2.3.3 Estacionalidad

La estacionalidad es por lo general un factor muy importante en hidrología y debe ser considerado para la preparación del plan de muestreo/monitoreo.

1.13.2.3.4 Frecuencia

La frecuencia en caso de planes de muestreo deberá considerar la estacionalidad y deberá considerar mediciones en condiciones representativas. Asimismo, es importante obtener data de eventos extremos como fuertes lluvias, estos no pueden ser incluidos en una frecuencia planificada de antemano. Debe considerarse los temas de seguridad para los casos de toma de datos durante eventos extremos.

1.13.2.3.5 Parámetros y Métodos de Medición

Caudales

La medición de caudales puede realizarse de manera manual o automática. La medición de caudales manuales puede ser estimado utilizando correntómetro, para lo cual debe ubicarse secciones de medición lo más homogéneo posible. Para caudales muy pequeños se medirá el tiempo de llenado de un depósito de volumen determinado.

También puede considerarse la construcción de estructuras para la medición de caudales como secciones específicas o canaletas *Parshall*. Estas estructuras deben ser correctamente diseñadas y calibradas para las mediciones.

Uso de Agua e Infraestructura Hidráulica

Es importante registrar los usos de agua del área de estudio, así como la demanda estimada del recurso. Es decir si es poblacional, se recomienda estimar el número de población servida y la dotación. Para los usos agrícolas, de no haber estructuras hidráulicas que controlen la oferta, es recomendable conocer las áreas sembradas, cultivos y cronogramas de siembra. Toda la información deberá ser georreferenciada.

Un inventario de la infraestructura hidráulica es recomendable, registrando las características de la infraestructura, su condición, caudales, tomas de agua y cronograma de uso de la infraestructura.

1.13.2.4 Evaluación y Análisis de Resultados

Dependiendo de las características del proyecto y del área donde se construirá, se podrán obtener los parámetros señalados en las siguientes secciones.

1.13.2.4.1 Precipitación

Para la determinación de la precipitación, se debe realizar en primer lugar un análisis exploratorio de datos, con la finalidad de determinar el comportamiento de la precipitación a través de los años y detectar los valores atípicos y anómalos, así como la consistencia de la serie de tiempo.

Para ello, se puede considerar trabajar con información secundaria de precipitación mensual a través de la base de datos PISCO (Peruvian Interpolation of the SENAMHIs Climatological and Hydrological Stations) de SENAMHI.

Se recomienda realizar el análisis de consistencia a través del análisis gráfico, doble masa y estadístico, o el método de vector regional que facilita la crítica, la homogenización y en ciertos casos el relleno de datos.

Una vez que se cuente con series de tiempo de precipitación consistente y homogénea se puede realizar la completación y extensión, con la finalidad de contar con series de periodo común de precipitación, para lo cual se debe emplear los métodos de: vector regional, pesos porcentuales, regresión lineal, razones de distancia, promedios vecinales, regresión múltiple, autocorrelación y otros.

Finalmente se determina la precipitación media de la cuenca o cuencas aplicando el método de isoyetas, polígonos de *Thiessen*, aritmético, *kriging*, u otro que se crea conveniente.

Asimismo se debe calcular las precipitaciones con diferentes tiempos de retorno, es decir las precipitaciones máximas calculadas para diferentes periodos de tiempo.

1.13.2.4.2 Evaporación

La evaporación es un parámetro importante para la preparación de balances de agua por lo que de ser el caso, debe calcularse la evaporación total anual de los cuerpos de agua y su distribución mensual.

1.13.2.4.3 Caudales

Es importante calcular los caudales medios, mínimos y máximos mensuales; caudales ecológicos, y caudales máximos en diferentes tiempos de retorno.

En los casos en que la cuenca a evaluar dispone de medición de caudales en varias estaciones hidrométricas, se debe realizar un análisis de consistencia para luego determinar la estadística de la serie, como el caudal promedio, mínimo, máximo.

Para los casos donde no se dispone de registro de caudales, se deberá recurrir a un modelo de precipitación-escorrentía. Se pueden utilizar modelos hidrológicos basados en coeficientes de escorrentía, u otros como los de Lutz Scholz. Es importante que estos modelos sean calibrados y validados utilizando las mediciones de campo obtenidas durante el trabajo de campo.

Para ciertos proyectos es importante calcular la disponibilidad hídrica u oferta hídrica para una probabilidad de excedencia del 50 %, 75 %, 85 % y 95%.

Si el proyecto lo amerita es necesario calcular el caudal ecológico, a través del criterio de la Autoridad Nacional del Agua (ANA 2016a, 2016b) u otros criterios que sean apropiados.

1.13.2.4.4 Análisis de crecidas

Dependiendo de las características del proyecto y del área de estudio, es necesario llevar a cabo un análisis de crecidas y estimar caudales máximos instantáneos para diferentes periodos de retorno, en puntos de interés.

De contarse con caudales máximos instantáneos de estaciones hidrométricas se debe realizar análisis de frecuencias utilizando modelos cuya bondad de ajuste debe ser comprobada. Entre otros los modelos que se pueden utilizar son Smirnov Kolmogorov, chi cuadrado, criterio de Información de Akaike y criterio Bayesiana.

De no contarse con mediciones de caudales máximos, se puede recurrir a fórmulas empíricas, entre otras se cuenta con ILLA, racional, chow, hidrograma unitario triangular e hidrograma unitario *Snyder*.

Asimismo se puede realizar un modelamiento hidrológico de la cuenca, por ejemplo con el software HEC HMS (Programa Computacional del Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estados Unidos de Norteamérica). Los caudales de periodo de retorno van depender del objetivo del estudio pero es necesario que figuren resultados para periodo de retorno de 25, 50, 100, 200 y 500 años.

1.13.2.5 Representación espacial

El mapa de cuencas hidrográficas se debe presentar a una escala adecuada donde se pueda visualizar todas las cuencas involucradas en el proyecto, es decir, deben amoldarse a las necesidades de visualización o lectura del mapa. Se debe tener en cuenta también la visualización de los componentes del proyecto asociados a las cuencas hidrográficas.

1.13.3 Referencias bibliográficas

- ANA (2015). Autoridad Nacional del Agua. *Guía para realizar inventarios de fuentes naturales de agua superficial*. Resolución Jefatural N° 319-2015-ANA.

- ANA (2016). Autoridad Nacional del Agua. *Términos de Referencia Comunes del contenido hídrico que deberán cumplirse en la elaboración de los estudios ambientales*. Resolución Jefatural N° 090-2016-ANA.
- ANA (2016a). Autoridad Nacional del Agua. *Metodología para Determinar Caudales Ecológicos*. Resolución Jefatural N° 154-2016-ANA.
- ANA (2016b). Autoridad Nacional del Agua. *Rectifican incisos de los artículos 3°, 7°, 8°, y 13° de la Metodología para determinar caudales ecológicos, aprobada por RJ N° 154-2016-ANA*. Resolución Jefatural N° 206-2016-ANA.

1.13.4 Documentos de Consulta

- Aliaga, S. (1985). *Hidrología Estadística*. Lima, Perú: UNMSM.
- Bedient, P.B. & Huber, W.C. (1992). *Hydrology and Floodplain Analysis*. Reading, Massachusetts: Addison-Wesley.
- Chow, V.T. Handbook of Applied Hidrology A. (1989). Compendium of Water-Resources Technology Edit. Mc Graw-Hill Book Company.
- Guerrero Salazar P. (2003). *Métodos Estadísticos en Hidrología*. Lima, Perú: Escuela de Post Grado en Recursos Hídricos.
- Organización Meteorológica Mundial. (1990). *Statistical Analysis of Series of Observations* (R. Sneyers), Nota Técnica N° 143, OMM–N° 415, Ginebra.
- Organización Meteorológica Mundial (1994). *Guía de prácticas climatológicas*. Quinta edición. OMM–N° 168, Ginebra.