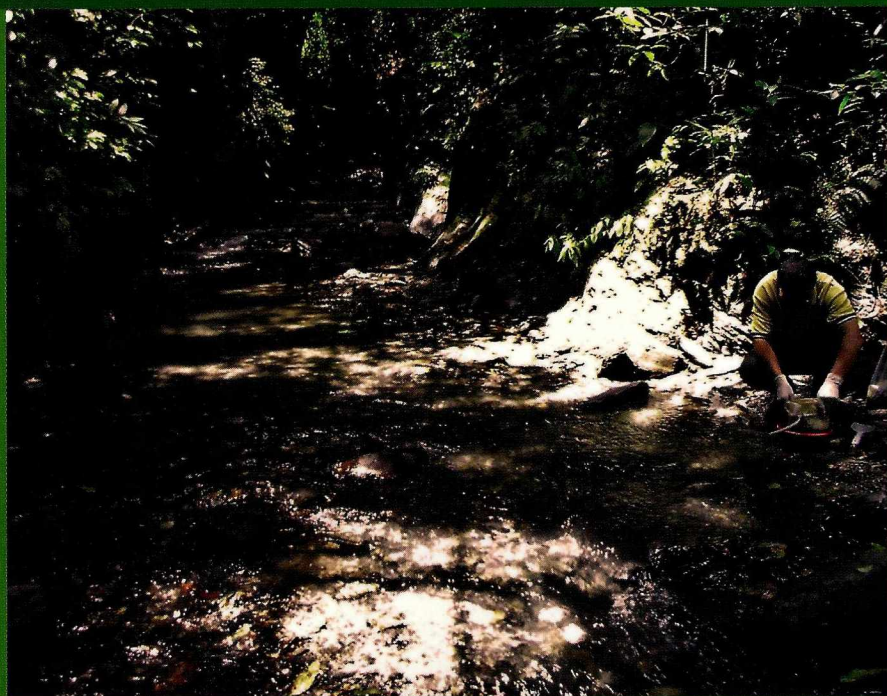


MANUAL DE GEOQUÍMICA

MUESTREO DE ULTRA BAJA DENSIDAD
Y DE BAJA, MEDIA Y ALTA DENSIDAD



colección GUÍAS Y MANUALES

GLORIA PRIETO RINCÓN
ÁLVARO ESPINOSA GONZÁLEZ



INGEOMINAS
INSTITUTO COLOMBIANO
DE GEOLOGÍA Y MINERÍA
República de Colombia

MANUAL DE GEOQUÍMICA

MANUAL DE GEOQUÍMICA

MUESTREO DE ULTRA BAJA DENSIDAD Y DE BAJA, MEDIA Y ALTA DENSIDAD

GLORIA PRIETO RINCÓN

ÁLVARO ESPINOSA GONZÁLEZ



INGEOMINAS
INSTITUTO COLOMBIANO
DE GEOLOGÍA Y MINERÍA

República de Colombia

**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA,
INGEOMINAS**

Director General
OSCAR PAREDES ZAPATA

Secretaria General
CRISTINA RUEDA LONDOÑO

Directora Técnica Servicio Geológico
MARTA LUCÍA CALVACHE VELASCO

Director Técnico Servicio Minero
HERNÁN JOSÉ SIERRA MONTES

Subdirectora Recursos del Subsuelo
GLORIA PRIETO RINCÓN

© Instituto Colombiano de Geología y Minería,
Ingeominas

© GLORIA PRIETO RINCÓN
ÁLVARO ESPINOSA GONZÁLEZ

Colaboradores
LUZ MYRIAM GONZÁLEZ
ORLANDO VARGAS
CAMPO ELÍAS PERILLA
GUSTAVO IVÁN GARCÍA

ISBN: 978-958-97896-8-1

Preparación Editorial
LUIS EDUARDO VÁSQUEZ SALAMANCA

Diseño y Diagramación
WILLIAM YESID NAIZAQUE OSPINA

Impresión
IMPRENTA NACIONAL DE COLOMBIA

Bogotá, 2011

CONTENIDO

PREFACIO	11
INTRODUCCIÓN	13

Programa Internacional de Correlación Geológica. Líneas Base Geoquímicas Globales	13
Compilación y levantamiento de información geoquímica del territorio. Líneas Base Geoquímicas de Colombia	13
Necesidad de líneas base geoquímicas ambientales en Colombia	15
Medios de muestreo	17
Celdas de la red Global Terrestrial Network (GTN)	20

PARTE UNO

MUESTREO DE ULTRA BAJA DENSIDAD	23
---------------------------------	----

Objetivo del manual	23
Definiciones	23
Generalidades	23
Sedimentos de llanura de inundación (<i>floodplain</i>), sobrepantalla (<i>overbank</i>) y suelos aluviales	26
Selección de sitios de muestreo	28
Diseño de muestreo	28
Tipos de muestras	29
Zonas para muestreo	30
Recomendaciones generales de muestreo	32
Identificación de las muestras	32
Muestreo	33
Recolección de las muestras	34
Tipo de muestras de sedimentos de planicie de inundación, sobrepantalla y suelos aluviales	34
Materiales, equipos y reactivos	35
Muestreo de sedimentos de llanura de inundación, sobrepantalla y suelos aluviales	35
Documentación fotográfica	38
Control	39
Preservación y envío de las muestras	39

Observaciones de campo	39
Coordenadas de los sitios de muestreo	40
Características de la cuenca y del sitio de muestreo	40
Características de las muestras colectadas	40
Perfil de sedimentación	40
Fotografías	40
Espectrografía de rayos Gamma	41
Preparación y archivo de las muestras	41
Equipos	42
Procedimiento para preparación y archivo de muestras	43
Metodología de análisis	45
Metodología de tratamiento estadístico de datos y producción de mapas	47
Protocolos de muestreo	48
Ficha técnica para muestreo de sedimentos de planicie de inundación, sobrebanca y suelos aluviales	48
Procedimiento para toma de lecturas radiométricas con el detector de centelleo-tipo SPP2Y	58
Formato de captura de información en campo para muestreo de sedimentos de planicie de inundación	61

PARTE DOS

MUESTREO DE BAJA, MEDIA Y ALTA DENSIDAD **65**

Objetivo del manual	65
Selección de sitios de muestreo	65
Diseño de muestreo	65
Coordenadas de los sitios de muestreo	70
Identificadores (ID)	70
Registros fotográficos	72
Muestreo	72
Agua de corriente	73
Sedimentos activos de corriente	74
Suelos	76
Ficha técnica para el muestreo de agua de corriente	78
Alcance y campo de aplicación	78
Principios básicos y definiciones	78

Materiales, equipos y reactivos	78
Identificadores de las muestras	80
Procedimiento	81
Control de calidad en el muestreo	83
Materiales y equipos	85
Ficha técnica para el muestreo de suelos	90
Alcance y campo de aplicación	90
Principios básicos y definiciones	90
Materiales y equipos	90
Identificador de las muestras	91
Procedimiento	92
Control de calidad en el muestreo	95
Registro de observaciones de campo	96
Preparación y archivo de muestras	96
Preparación de las muestras	96
Tipos de muestras a ser preparadas	97
Procedimiento para preparación y archivo de muestras	97
Formato de captura de datos de campo para muestreo de Baja, Media y Alta Densidad	100

ANEXO I **103**

Métodos de muestreo y determinaciones opcionales para proyectos de Líneas Base Geoquímicas Globales	103
Aguas para determinación de alcalinidad en campo y muestreo para determinación de COT, Hg y otros metales traza	103
Medidas de alcalinidad total	106
Preservación y envío de las muestras de agua	108
Tamizado húmedo para sedimentos activos de corriente	109
Muestreo de sedimentos activos para tamizado húmedo	110
Muestreo y tamizado húmedo	111
Muestreo de Humus	115

REFERENCIAS **121**

El objetivo fundamental de este manual es presentar las bases metodológicas para realizar muestreos geoquímicos sistemáticos de reconocimiento estratégico y de cartografía geoquímica regional, con fines multipropósito.

En los programas de reconocimiento geoquímico estratégico, también conocidos como de exploración geoquímica multipropósito o de Ultra Baja Densidad (UBD), se utilizan como medios de muestreo sedimentos de planicie de inundación (*floodplain*), sedimentos de sobrecancho (*overbank*) y suelos aluviales en grandes cuencas, y están orientados a definir dominios, delimitar mega provincias y provincias e identificar anomalías geoquímicas nacionales y regionales.

En los programas de cartografía geoquímica regional de Baja, Media y Alta Densidad (BMAD) se utiliza un diseño de muestreo denominado de pequeñas cuencas y de muestreo multimedio, se colectan aguas, sedimentos activos, suelos residuales y humus y están orientados a identificar anomalías geoquímicas regionales y locales.

Como base del manual se han acogido y adaptado las metodologías y recomendaciones para trabajo de campo del Programa Internacional de Correlación Geológica (IGCP) proyecto 259/360 y las orientaciones para muestreo geoquímico de los servicios geológicos europeos en su publicación *Geochemical Mapping Field Manual* (Salminen et ál., 1998).

Los resultados obtenidos de los muestreos geoquímicos sistemáticos, son base para avanzar en el conocimiento geoquímico de un territorio y aportan información para definir la línea base geoquímica de Colombia y delimitar zonas anómalas y regiones de dominio o concentración de elementos de interés para exploración de recursos minerales, planeación agrícola, estudios de salud y medio ambiente y para planeación de uso del territorio nacional.

Programa Internacional de Correlación Geológica. Líneas Base Geoquímicas Globales

Según estudios realizados desde 1988 en desarrollo del proyecto sobre Mapeamiento Geoquímico Internacional, los datos de composición geoquímica de materiales naturales existentes en el mundo son incompletos y no cumplen con los requerimientos de calidad necesarios para usarse en normas y reglamentaciones ambientales; tampoco son aplicables para el hallazgo de depósitos minerales profundos o de bajos tenores y son de poca utilidad para definir líneas base geoquímicas a nivel global, regional o local (Darnley et ál., 1995; Plant et ál., 1996, 1997 & Salminen et ál., 1998).

El Programa Internacional de Correlación Geológica (IGCP, por su sigla en inglés), (Darnley et ál., 1995) recomendó el muestreo de un grupo de materiales naturales de referencia global, que deben recolectarse y analizarse siguiendo metodologías estandarizadas, de tal modo que sea posible crear una base de datos de geoquímica fundamentada en una red de trabajo global de referencia, con respecto a la cual se pueden comparar datos geoquímicos nacionales y regionales. Las recomendaciones en referencia las aprobó el Comité de Recursos Naturales de las Naciones Unidas, que emitió la Resolución 315, en la cual se reconoce la necesidad de un Programa Global de Monitoreo Terrestre, y sugirió que el proyecto de Líneas Base Geoquímicas Globales se convirtiera en el eje central de dicho programa.

Compilación y levantamiento de información geoquímica del territorio. Líneas Base Geoquímicas de Colombia

El Servicio Geológico del Instituto Colombiano de Geología y Minería (Ingeominas), tiene como objetivo fundamental investigar y generar la información básica para obtener el conocimiento geocientífico y aprovechar el subsuelo del territorio colombiano. Lo anterior involucra la investigación y el conocimiento de la evolución, la composición y la di-

námica de la corteza terrestre, el inventario de zonas del subsuelo más favorables para la acumulación de hidrocarburos, minerales, carbones, fuentes de agua subterráneas y recursos geotérmicos, la investigación de procesos de aprovechamiento de estos recursos y de utilización de los materiales nucleares, así como la identificación y monitoreo de zonas sujetas a amenazas naturales y la evaluación de las restricciones de uso del territorio asociadas a las condiciones geológicas. Para el cumplimiento de este objeto, al igual que para el desarrollo de sus funciones, el Servicio Geológico agrupa sus actividades en las siguientes áreas de trabajo: Investigación y Cartografía Geológica, Investigación y Evaluación de Recursos del Subsuelo, Investigación, Evaluación y Monitoreo de Amenazas Geológicas (Decreto 252 de 2004).

En el contexto anterior, el Servicio Geológico de Ingeominas, ha abordado la tarea de producir información geoquímica que contribuya al establecimiento de las Líneas Base Geoquímicas de Colombia y brinde información multipropósito (recursos minerales y ambientales), siguiendo las metodologías y normas del Programa Internacional de Correlación Geológica (IGCP), proyecto 259/360, Base de Datos Geoquímica Global para Manejo de Recursos y Medio Ambiente.

El proyecto se empezó en 1995-1996 con un Inventario de Datos Geoquímicos de Colombia y se continuó en 1997 hasta la fecha, con la recolección y análisis de muestras de aguas, sedimentos activos de corriente y suelos. Posteriormente, para adquirir información que permita conocer las características geoquímicas generales del territorio colombiano, se hace el muestreo de Ultra Baja Densidad (UBD) que toma sedimentos de llanura de inundación como medio de muestreo.

Este manual tiene como objetivo principal proveer las instrucciones principales para la selección de los sitios de muestreo y la recolección de muestras de sedimentos de llanura de inundación, sedimentos finos activos de corriente, aguas y suelos.

Como complemento se anexan métodos de muestreo y determinaciones opcionales que pueden ser aplicados para proyectos de Línea base geoquímica. Se incluye adicionalmente el esquema general de los métodos utilizados para la preservación y preparación de las muestras colectadas.

Necesidad de líneas base geoquímicas ambientales en Colombia

El interés por el conocimiento y cuidado del ambiente, aunado a la necesidad de descubrir nuevas fuentes de minerales estratégicos para el desarrollo de Colombia, hace que se deba profundizar en el conocimiento que se posee acerca de la composición geoquímica del territorio.

En el ámbito científico es bien conocida la poca uniformidad de la concentración natural de los elementos químicos en un componente geológico, así como la gran variabilidad de concentraciones en áreas geológicamente distintas. A pesar de lo anterior, no se reconoce ampliamente el hecho de que los valores de línea base geoquímicos (*background*) son muy variables y que muchos valores naturales de elementos o especies químicas considerados potencialmente peligrosos (ejemplo: As, Cd, Pb, NO_3^- , elementos radiactivos y contaminantes orgánicos) pueden ser altos o incluso más altos que los originados o provenientes por actividades antrópicas. En el caso de elementos y especies de interés ambiental (hasta sintéticos), la geología y la geoquímica del entorno son las que ejercen un control fundamental sobre su distribución y su potencialidad para crear riesgos y causar daño a los seres vivos. Por tanto, es vital tener un entendimiento lo más detallado posible sobre las posibles variaciones de las concentraciones base (*background*) antes de definir límites para contaminación.

La necesidad de descubrir yacimientos minerales, muchos de los cuales no presentan evidencias claras en superficie por encontrarse muy profundos y cubiertos, o porque los elementos guía se encuentran en muy bajas concentraciones (diseminados), y no pueden detectarse fácilmente como anómalos, hace urgente la recolección de información geoquímica de calidad, en la que los elementos de interés se cuantifiquen en muy bajas concentraciones.

La preocupación por el cuidado del ambiente, en el marco de la legislación colombiana, no es solamente del ámbito de las autoridades ambientales que deben legislar y emitir normas, sino también del interés público que requiere conocer las fuentes y concentraciones (suelos, aguas, sedimentos) de aquellos elementos y especies que implican un riesgo para su salud. Todo lo anterior exige que se disponga de líneas base geoquímicas confiables (calidad y bajos límites de detección), de modo que se puedan fijar “límites de seguridad” de elementos y espe-

cies potencialmente peligrosos, hacer estudios ambientales (estudios de impacto ambiental, definición de zonas críticas, etc.) y establecer programas de monitoreo ambiental.

Hasta el momento, el conocimiento de la geoquímica de la superficie del territorio colombiano está basado en datos específicos, producidos con metodologías de muestreo y análisis diferentes (muchos de ellos semicuantitativos o con límites de detección muy altos-ppm o porcentaje), los cuales, en su gran mayoría, no cumplen con los requerimientos de calidad para establecer líneas base geoquímicas, ni siquiera para un elemento (Ingeominas, 1996).

Todo lo anterior sustenta la urgente necesidad de efectuar un programa sistemático (en cubrimiento y calidad) de levantamiento de información geoquímica en Colombia, que permita establecer Líneas Base Geoquímicas que sean soporte para proyectos de exploración y aprovechamiento de recursos minerales, y para proyectos de legislación ambiental. De acuerdo con los especialistas y científicos en el campo de la geoquímica, para que los datos sean de utilidad en los propósitos antes mencionados deben cumplir con los siguientes requerimientos (Plant et ál., 1996, 1997):

1. Normalizados, traspasando fronteras geográficas nacionales.
2. Disponibles en forma digital y georreferenciados, para su uso en SIG, de tal modo que se puedan correlacionar iterativamente con otras bases de datos (ejemplo: uso del suelo, estadísticas de morbilidad y mortalidad animal y humana, etc.).
3. Lo más amplios y completos posibles, de modo que incluyan metales de interés económico y a la mayor parte de los Elementos y Especies Potencialmente Peligrosos (PHES, por su sigla en inglés), e idealmente tantas especies químicas peligrosas como sea posible, entre estas compuestos sintéticos.
4. Basados en un completo grupo de tipos de muestras que incluyan suelos, sedimentos activos, aguas superficiales, aguas subterráneas, sedimentos de llanura de inundación y sedimentos de inundación marina y de estuarios, en zonas costeras.

Los muestreos geoquímicos sistemáticos que aplican estas metodologías tienen como objetivo obtener datos geoquímicos de calidad,

producidos con metodologías de muestreo estandarizadas y métodos analíticos con límites de detección que permitan establecer Líneas Base Geoquímicas de Colombia, que puedan usarse con fines multi-propósito (recursos minerales, ambiental, etc.), y para emitir políticas y legislar, así como para establecer programas de monitoreo de cambios en el ambiente.

Este tipo de muestreos se iniciaron en 1997, en Ingeominas, con un Grupo de trabajo interdisciplinario del proyecto Compilación y Levantamiento de la Información Geoquímica del Territorio, dentro del Programa de Reconocimiento Geocientífico del Territorio Colombiano.

Medios de muestreo

Para mayor información sobre cada uno de los medios de muestreo recomendados por el proyecto de Líneas Base Geoquímicas Globales, en diferentes condiciones geoambientales, pueden consultarse los documentos de Darnley et ál. (1995) y Foregs (Salminen et ál., 1998).

Aguas de corriente

Se colectan porque reflejan la interrelación entre geosfera e hidrosfera y contaminación, y además son la fuente principal de agua de consumo. Adicionalmente, estudios puntuales han analizado aguas, por lo que es un buen medio para comparar y correlacionar resultados.

Sedimentos activos de corriente (<0,15 mm)

y sedimentos de llanuras de inundación (floodplain) (<2 mm)

Son importantes porque reflejan la composición geogénica promedio de la cuenca de captación. La mayoría de los estudios locales y regionales de exploración y algunos de contaminación han empleado muestras de sedimentos, por lo que son un medio ideal para comparar y correlacionar resultados.

Suelos residuales y no transportados (autóctonos)

(horizonte superficial 0-25 cm) y subsuelos (capa de 25 cm en un rango de profundidad entre 50-200 cm)

Se toman porque reflejan las variaciones en composición geogénica de las capas más superficiales de la corteza terrestre, por lo que hay que evitar muestrear suelos en sitios donde existe contaminación evidente

o reconocida. Se debe, en lo posible, seleccionar suelos de acuerdo con el siguiente orden:

- Zonas boscosas y vírgenes.
- Zonas verdes y pastizales.
- Zonas agrícolas.

La comparación entre muestras de suelo del horizonte superficial (A) (*topsoil*) y las de subsuelo u horizonte profundo (B-C) (*subsoil*) provee información sobre procesos de enriquecimiento o empobrecimiento entre las capas. Uno de estos procesos es la contaminación antropogénica de la capa superficial. La fracción <2 mm se toma en concordancia con las normas ambientales. Las fracciones <0,18 mm y más finas se han empleado ampliamente en programas de exploración mineral y, por tanto, los datos obtenidos podrán utilizarse para establecer correlaciones entre las bases de datos ambientales y las bases de exploración mineral.

Humus

Se usan con el fin determinar la entrada o la contribución atmosférica (antropogénica) de elementos al ecosistema. Para cumplir con esta premisa se deben coleccionar en áreas boscosas, lo más cerca posible de los otros sitios de muestreo, y coleccionar los centímetros más superficiales de la capa orgánica que se encuentren inmediatamente debajo de la capa de vegetación verde y debajo del *litter* (máximo 3 cm), para que refleje la contribución atmosférica.

Para los programas de muestreo geoquímico sistemático, Ingeominas seleccionó aquellos medios de muestreo que se consideraron más representativos del ambiente superficial de Colombia, siguiendo las orientaciones del Grupo de trabajo en Líneas Base Geoquímicas Globales (figuras 1, 2, y 3).

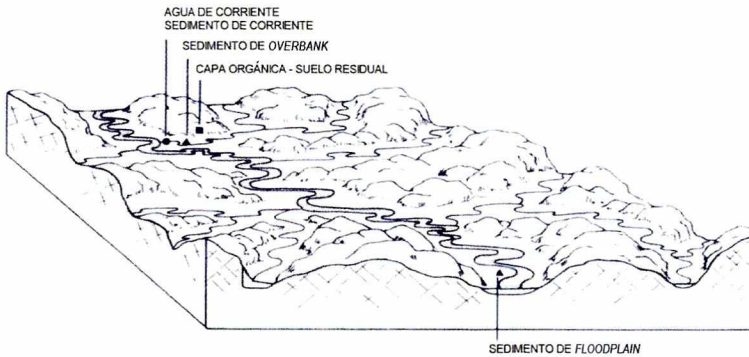


FIGURA 1. Bloque diagrama en el que se muestran los posibles sitios de muestreo para los medios de muestreo de la GTN: agua de corriente (*stream water*), sedimentos activos (*stream sediment*), sedimentos de sobrebanca (*overbank sediment*), capa orgánica de suelo residual (*organic layer residual soil*), sedimentos de llanura de inundación (*floodplain sediment*).

Fuente. Tomado de Salminen et ál., 1998.

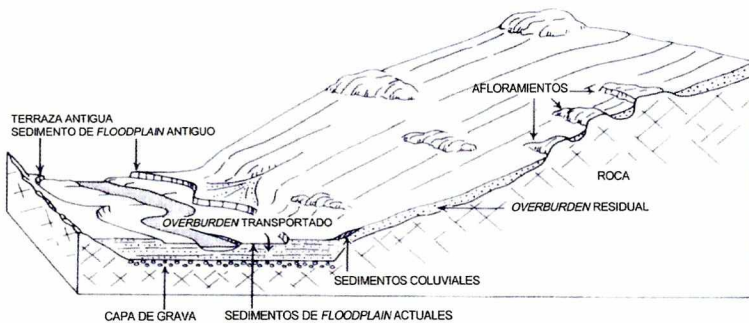


FIGURA 2. Bloque diagrama en el que se muestra el *overburden* residual (suelo), coluvio, y sedimentos de llanuras de inundación antiguos y recientes. Colina cubierta con suelo residual (*residual soil-covered slope*), terraza antigua (*old terrace*), sedimentos de floodplain antiguos (*old floodplain sediment*), *overburden* transportado (*transported overburden*), lecho de grava (*gravel bed*), sedimentos de llanuras de inundación recientes (*present floodplain sediments*), coluvio (*colluvium*), *overburden* residual (*residual overburden*), roca parental (*bedrock*), afloramientos (*outcrops*).

Fuente. Tomado de Salminen et ál., 1998.

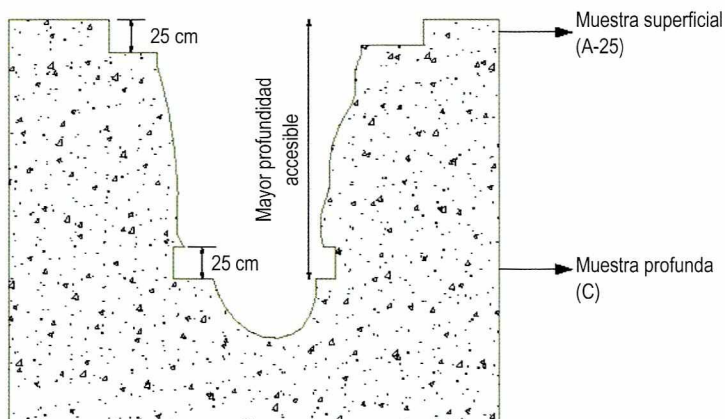


FIGURA 3. Diagrama esquemático de un apique de muestreo para la red de referencia geoquímica, aplicable a todos los sitios de muestreo de suelo residual y de sedimento de llanura de inundación (*floodplain*), sobrebanca y suelos aluviales de origen fluvial (modificado de Darnley et ál., 1995). Las muestras superficiales son tomadas del horizonte superficial (A_{0-25}) y las muestras profundas (C) de una sección de 25 cm de espesor, en un rango de profundidad de 60 a 200 cm en el caso de sedimentos de *floodplain* o en un rango de profundidad de 50 a 200 cm en el caso de suelos residuales.

Fuente: Tomado de Foregs (en Salminen et ál., 1998). Selección de sitios de muestreo.

Los medios de muestreo seleccionados para Colombia son:

- Aguas de corriente (filtrada y sin filtrar).
- Sedimentos activos de corriente (sedimento mineral), <0,15 mm.
- Suelo residual, horizonte superficial (horizonte *A-topsoil*), 0-25 cm, sin incluir la capa orgánica superficial (vegetación fresca, *litter* o humus), <2 mm.
- Sedimentos de llanura de inundación, horizonte superficial, 0-25 cm, <2 mm. Se tomaron algunas muestras opcionales.

Celdas de la red Global Terrestrial Network (GTN)

Para realizar el proyecto de Líneas Base Geoquímicas Globales, toda la superficie terrestre se ha dividido en celdas de 160 x 160 km (Darnley

et ál., 1995). Las celdas tienen su origen sobre el Ecuador en el meridiano 0° (Greenwich). Las coordenadas de las celdas a nivel global, las ha suministrado la coordinación del Grupo Trabajo de Geoquímica. También están disponibles en las páginas web del GSF (<http://www.gsf.fi>).

Siguiendo los criterios del proyecto IGCP-259/360, se insertó Colombia en la red de trabajo geoquímica global de referencia (GGR, por su sigla en inglés). Las celdas de la red tienen su origen en Ecuador en los 0° del meridiano de Greenwich y son simétricas al norte y al sur del Ecuador. Las celdas están limitadas por líneas de latitud distanciadas 1½° (166 km, aproximadamente). Para mantener un área constante de 25 600 km², los meridianos que definen los límites oriental (E) y occidental (W) están simétricamente desplazados en longitud este (E) y oeste (W) en bandas latitudinales sucesivas. Aplicando este proceso Colombia posee 57 celdas (160 x 160 km). Las celdas se numeraron de 1 a 57 y aparecen delimitadas en la figura 4.

Las celdas para Colombia tienen identificadores tales como N04W52, la cuarta celda al norte del Ecuador y la celda 52 al oeste del Meridiano 0° (Greenwich).

Solamente una de las celdas que se muestran en la figura 4 corresponde a área marina. Algunas celdas traspasan los límites fronterizos de Colombia y cubren más de un país. En estos casos particulares, se hará lo posible porque el muestreo de tales celdas se acuerde entre los dos países y coordinado por el país en el cuál esté localizado el centro de la celda. Se está trabajando en el establecimiento de contactos con los países limítrofes, especialmente Brasil, que ya está desarrollando programas de mapeamiento geoquímico siguiendo las orientaciones del Proyecto Líneas Base Geoquímicas Globales.

Los sitios de muestreo se seleccionaron siguiendo un diseño aleatorio, balanceado, estratificado con patrón bidimensional. Con base en la red de muestreo global (proyecto de mapeo geoquímico global) se toman celdas unitarias de 160 x 160 km (57 en total para Colombia) y estas celdas se subdividen en subceldas de 80 x 80 km, 40 x 40 km y 20 x 20 km, respectivamente. Dentro de cada celda y subceldas, se toman como unidad fundamental de muestreo las cuencas de drenaje <100 km² para sedimentos, aguas y suelos en programas de Baja, Media y Alta Densidad (BMAD) y cuencas >200 km² para sedimentos de llanura de inundación en programas de Ultra Baja Densidad (UBD).

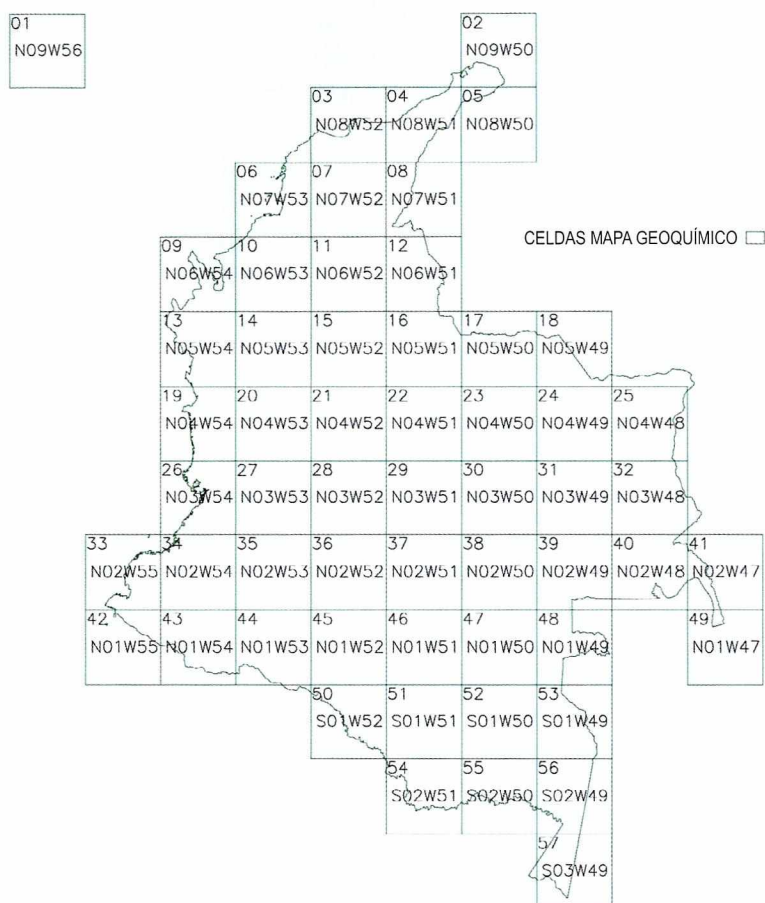


FIGURA 4. Celdas de la Red de Trabajo Terrestre Global (*Global Terrestrial Network, GTN*), correspondientes a Colombia.

Los sitios y zonas de muestreo se toman al azar. Además, no se establece un diseño para que se muestren sólo las concentraciones más bajas existentes en el territorio colombiano (zonas vírgenes o no afectadas antrópicamente), sino que por el contrario los datos que se obtienen permitirán establecer las líneas base geoquímicas existentes en la actualidad en el territorio colombiano.

MUESTREO DE ULTRA BAJA DENSIDAD

Objetivo del manual

En este manual se desarrollan detalladamente los protocolos y consideraciones técnicas necesarios para ejecutar un muestreo de Ultra Baja Densidad (UBD) utilizando sedimentos de llanura de inundación (*floodplain*), sobrebanca y suelos aluviales como medio de muestreo.

Definiciones

Generalidades

Rose et ál. (1979) señaló la importancia del mapeo geoquímico sistemático desde la década de los setenta, y a partir de entonces se han hecho muchos proyectos nacionales y regionales, cuyos resultados, a pesar de los esfuerzos realizados, no son comparables ni de utilidad global, debido, entre otras razones, a la multiplicidad de medios de muestreo utilizados, a la diferencia y calidad en métodos analíticos empleados y a que en cada proyecto se analizaron diversos elementos, de acuerdo con ciertas necesidades inmediatas.

Con el objetivo fundamental de estandarizar metodologías para mapeo geoquímico a nivel global, se inició en 1988, con el auspicio del Programa de Correlación Geológica Internacional de la Unesco, el proyecto de mapeo geoquímico internacional IGCP 259 (Darnley et ál., 1995). Paralelamente, geoquímicos de los países escandinavos lanzaron la idea de “muestreo geoquímico de amplio espaciamiento o de ultra baja densidad” como estrategia para elaborar el mapa geoquímico del mundo. Después de finalizado el proyecto IGCP 259, y como continuación de éste, se aprobó el proyecto de Líneas Base Geoquímicas Globales, IGCP 360, que terminó oficialmente en 1997; sin embargo, su labor continúa en la actualidad con el Grupo de Trabajo sobre Líneas Base Geoquímicas Globales, de la Unión Internacional de Ciencias Geológicas (IUGS, por su sigla en inglés), auspiciado por la Asociación Internacional de Geoquímica y Cosmoquímica (IAGC, por su sigla en inglés). Ingeominas hace parte de este grupo de trabajo.

Como resultado de los proyectos mencionados, se estableció una red de trabajo de referencia geoquímica (GRN, por su sigla en inglés) con cerca de 5000 celdas de 160 x 160 km, las cuales cubren toda la superficie terrestre. Las celdas tienen su origen en el Ecuador, en el meridiano 0 (Greenwich), y son simétricas al N y S de dicho origen; por conveniencia; las celdas están delimitadas por líneas de latitud $1\frac{1}{2}^{\circ}$ (cerca de 166 km). Para mantener un área constante de 25.600 km², los meridianos que definen los límites E y W están sistemáticamente desplazados en longitud E y W en bandas latitudinales.

Para cada celda de la red geoquímica de referencia se han sugerido dos tipos de muestreo: uno denominado diseño de pequeñas cuencas y de muestreo multimedio (aguas, sedimentos activos y suelos residuales), y otro de grandes cuencas (figura 1) y de muestreo unimedio (sedimentos de planicie de inundación). Adicionalmente a lo anterior, y dado que los datos obtenidos mediante muestreos geoquímicos regionales son multipropósito (medio ambiente y salud, geología básica, agricultura, recursos minerales), se ha recomendado que cada muestra sea analizada para el máximo número de elementos posibles (71) y el empleo de técnicas analíticas que permitan los más bajos límites de detección y la mejor calidad en los resultados (precisión y exactitud).



FIGURA 1. Llanura de inundación del río Gualí, muestreado en la fase I del muestreo de Ultra Baja Densidad en Colombia.

Los programas de reconocimiento geoquímico estratégico, también conocidos como de “exploración geoquímica multipropósito”, contemplan el uso del muestreo de baja densidad (amplio espaciamento –1 muestra por 100-10.000 km²), de tal modo que la información generada permita definir dominios, delimitar megaprovincias y provincias, e identificar anomalías geoquímicas regionales y locales.

El muestreo geoquímico de amplio espaciamento (Ultra Baja Densidad) es considerado una alternativa viable para adquirir un conocimiento general de la geoquímica global en un corto tiempo y para proveer información útil en el monitoreo de “respuestas tardías” a amenazas geoquímicas, en remediación ambiental y en la definición de la heterogeneidad de la tierra para delimitar “bloques geoquímicos” con enriquecimiento en ciertos minerales (bloque >1000 km² con contenido anómalo de ciertos elementos”) (Xie, 1995). La información generada mediante este muestreo es muy útil en la evaluación de recursos minerales y en la predicción de las regiones más favorables para descubrir grandes depósitos minerales.

Nuevos conceptos y tendencias se han desarrollado en la ejecución de programas de exploración geoquímica multipropósito, entre las cuáles se destacan el concepto de patrones geoquímicos, de lo local a lo global, heterogeneidad de la tierra, bloques geoquímicos y reducción progresiva de objetivos, entre otros (Xie & Yin, 1993). Estas nuevas ideas han producido programas de cartografía regional que las han confirmado y validado.

Entre las experiencias exitosas en muestreos de sedimentos de planicie de inundación en grandes cuencas, se pueden mencionar los programas del Foro de Servicios Geológicos de Países Europeos (Foregs), (26 países), y el programa Egmon del Instituto de Exploración Geofísica y Geoquímica (IGGE, por su sigla en inglés) de China. Este último programa fue especialmente exitoso y demostró la utilidad de dicho tipo de muestreos en la obtención de información sobre características geoquímicas regionales y en la delimitación de dominios y bloques geoquímicos, a bajo costo (Ottesen et ál., 1989; Plant et ál., 1996, 1997 & Salminen, 1998).

De acuerdo con las nuevas tendencias y con el objetivo de obtener información geoquímica de Colombia en corto tiempo y a bajos costos, Ingeominas inició el muestreo denominado de Ultra Baja Densidad (UBD), en el cual se colectan muestras de sedimentos de llanura de

inundación (*floodplain*)-cuencas de captación entre 1000 y 6000 km² y sobrebanca-cuencas de captación entre 200 y 1000 km²).

Sedimentos de llanura de inundación (*floodplain*), sobrebanca (*overbank*) y suelos aluviales

En general, los sedimentos se definen como el material sólido, detrítico y clástico (producto meteorizado menos soluble) transportado por las aguas y depositado a lo largo del lecho y cauce de una corriente. Los principales tipos de sedimentos usados en estudios geoquímicos y ambientales son los sedimentos de fondo de cauce o lagos, de planicie de inundación (*floodplain*) y sobrebanca, los sedimentos activos y los sedimentos en suspensión.

La planicie de inundación de un río es la zona adyacente al canal de éste, donde se depositan sedimentos en los periodos de inundación del régimen estacional de descarga de la corriente. Los sedimentos de llanura de inundación son, entonces, los materiales transportados por la corriente y depositados fuera del canal principal, que pueden encontrarse en terrazas aluviales o en la planicie de inundación activa.

Los *floodplain* son depósitos de origen detrítico, químico u orgánico, fruto de la destrucción mecánica, de la alteración de las rocas, de las precipitaciones químicas, de la acumulación de materia orgánica y de los residuos producidos por las actividades humanas, los cuales son transportados y depositados en las cuencas de sedimentación de los grandes ríos (entre 1000 y 6000 km². Los *floodplain* reflejan, de una manera general, la composición geogénica de su cuenca de captación (figura 2).

Los sedimentos de llanuras de inundación (*floodplain*) y de sobrebanca (*overbank*) son suelos aluviales de grano fino (limoarcillosos, arcillolimosos) de grandes y pequeñas llanuras de inundación respectivamente, de acuerdo con la diferencia en tamaño hecha por Darnley et ál. (1995).

Los sedimentos de planicie o llanura de inundación representan el aluvión de toda la cuenca de drenaje y se deben recolectar de la llanura aluvial, en el punto más bajo (cerca de la desembocadura) de las cuencas de captación grandes (1000-6000 km²).

Los sedimentos de llanuras de inundación y de sobrebanca son depositados durante eventos de inundación en ambientes de baja energía (Ottesen et ál., 1989); deberán, por tanto, estar desprovistos de piedras, lo cual indica ambientes de energía media. Los sedimentos de llanuras



FIGURA 2. Muestreo de sedimentos de llanura de inundación.

de inundación y de sobrebanca (*overbank*) son afectados normalmente por actividades antropogénicas recientes, y pueden estar contaminados.

Las muestras más profundas reflejan normalmente las variaciones de los valores base naturales (*background*) y deberían recolectarse de inmediato sobre el lecho de grava, pero esto no siempre es posible porque el objetivo es alcanzar una capa que no esté afectada por actividades humanas.

Estos sedimentos representan el aporte de la cuenca de captación del drenaje correspondiente, son depositados durante eventos de inundación en ambientes de baja energía y están compuestos principalmente por sedimentos de grano fino, limoarcilloso y arcillolimoso. En el muestreo de Ultra Baja Densidad para Colombia se ha definido recolectar sedimentos de las planicies de inundación de cuencas con áreas de captación entre 500 y 1000 km² (sobrebanca) y entre 1000 y 6000 km² (*floodplain*). En zonas muy montañosas, en las que los ríos o drenajes no son muy grandes (entre 200 y 500 km²) y donde se ha posibilitado la formación de planicies de inundación que han dado lugar al desarrollo de suelos aluviales (de origen fluvial), es posible considerar este tipo de muestras con el objetivo de tener un cubrimiento espacial sistemático del territorio.

La secuencia o perfil del sedimento de llanura de inundación representa el aporte en el tiempo de la cuenca de captación correspondiente (eventos de inundación). Aunque la historia o cronología de eventos

que dieron origen a la secuencia del sedimento puede ser muy compleja, la porción más superficial entre 0 y 25 cm después de retirada la capa vegetal (A_{0-25}), está influenciada por lo general actividades antrópicas recientes y la porción más profunda (25 cm más profundos por encima de la tabla de agua o del nivel de gravas) refleja normalmente la variación natural (*background*) de la cuenca de captación.

Selección de sitios de muestreo

Diseño de muestreo

Teniendo en consideración las experiencias de otras regiones (Noruega, Finlandia, China, Estados Unidos), y ante la ausencia de información geoquímica con la calidad requerida, se ha propuesto para Colombia un muestreo de Ultra Baja Densidad (UBD) (espaciado muy amplio), tomando como unidad de muestreo cuencas hidrográficas que cubren grandes extensiones territoriales (cuencas de captación entre 200 y 6000 km²).

Para adquirir información geoquímica con base en un muestreo de Ultra Baja Densidad (UBD), se han definido como unidades básicas de muestreo las cuencas de drenaje cuya área de captación esté entre 1000 y 6000 km², en cuyo caso se recolectan sedimentos de *floodplain* y a cuencas de drenaje con áreas de captación entre 500 y 1000 km², en cuyo caso se recolectan sedimentos de *overbank*. En zonas muy montañosas, en las que los ríos o drenajes no son muy grandes (entre 200 y 500 km²) y donde se ha posibilitado la formación de planicies de inundación que han dado lugar al desarrollo de suelos aluviales (de origen fluvial), es posible considerar este tipo de muestras con el objetivo de tener un cubrimiento espacial sistemático del territorio.

Para garantizar un cubrimiento espacial homogéneo y permitir el manejo de datos se ha diseñado una red de muestreo que toma como referencia la red de muestreo geoquímico global con celdas de 160 x 160 km, las cuales se subdividen a su vez en celdas de 80 x 80 km (figura 3). En cada celda de 80 x 80 km se delimitan las cuencas (200-6000 km²) y se seleccionan dos de ellas para coleccionar las muestras correspondientes. Aleatoriamente, en una celda de 80 x 80 km se toma otra cuenca para recolectar una muestra duplicado de celda y en una de las cuencas muestreadas se toma un duplicado de muestreo.

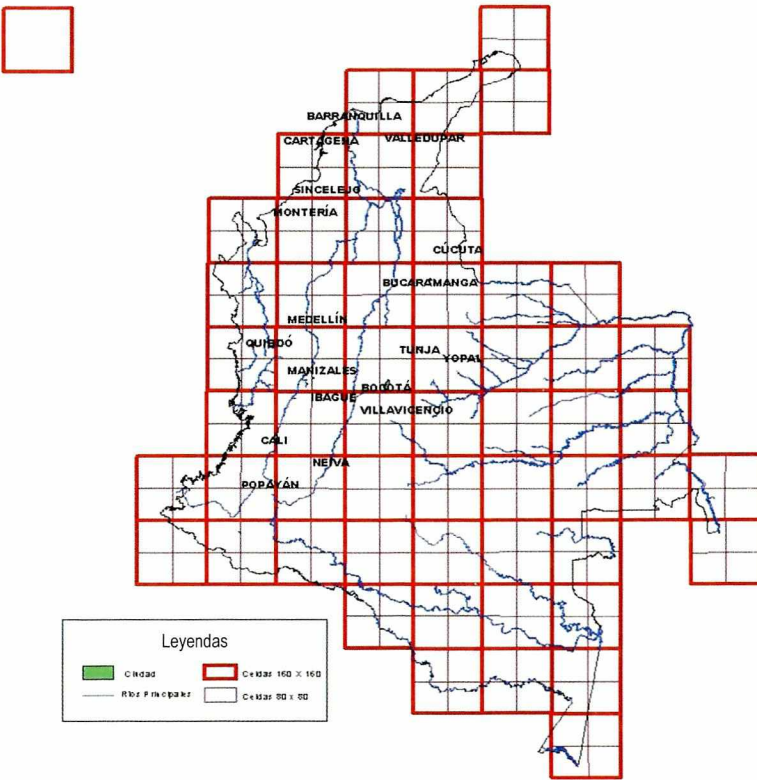


FIGURA 3. Celdas de la red para muestreo de Ultra Baja Densidad (UBD), que toma como referencia las celdas de la Red de Trabajo Terrestre Global (*Global Terrestrial Network, GTN*) correspondientes a Colombia.

El sitio de recolección de la muestra se debe localizar en la llanura aluvial de la cuenca seleccionada en el punto más bajo de la cuenca de drenaje, cerca del punto de confluencia de la corriente (de orden menor), con el río principal (de orden mayor).

Tipos de muestras

En el muestreo de Ultra Baja Densidad se toman muestras de sedimentos de llanura de inundación (*floodplain*) en cuencas de drenaje con áreas entre 1000 y 6000 km², y sedimentos de sobrebanca (*overbank*) en cuencas de drenaje con áreas entre 500 y 1000 km².

En algunas zonas en las que solamente se encuentran cuencas con áreas de captación entre 200 y 500 km² se toman suelos de origen fluvial.

En cada sitio de muestreo se recolectan una muestra superficial (A_{0-25}) y una muestra profunda.

Adicionalmente, se toman muestras para datación (por el método de Carbono 14) y se levanta información radiométrica utilizando un detector de centelleo.

En cuencas de drenaje seleccionadas aleatoriamente (10% del número de cuencas), se toman duplicados de celda y duplicados de muestreo.

De las cuencas de drenaje grandes seleccionadas para el muestreo (200-6000 km²) se colectan los siguientes tipos de muestras:

Tipo de muestra	Símbolo
Sedimento de llanura de inundación (<i>floodplain</i>), horizonte superficial 0-25 cm después de retirada la capa vegetal.	SFS
Sedimento de llanura aluvial (<i>floodplain</i>), 25 cm más profundos (hasta 200 cm o hasta encontrar tabla de agua o nivel de gravas, mínimo 60 cm).	SFP
Sedimento de llanura aluvial (<i>floodplain</i>), del estrato u horizonte de sedimentación más profundo y con mayor contenido de materia orgánica.	DAT
Duplicados de cuenca y duplicados de muestreo.	DC y DM

Zonas para muestreo

Por facilidad de trabajo, el muestreo de Ultra Baja Densidad (UBD) de todo el territorio colombiano se planeó en cuatro Fases, así: Fase I. Zona Centro y Norte del país: áreas Magdalena-Cauca y Caribe; Fase II. Zona del Oriente colombiano: áreas Orinoco, Amazonas, La Guajira-Catatumbo; Fase III. Zona Occidental: área Pacífico, y Fase IV. Zona Sur-Amazonas y sur del país, figuras 4 y 5.

En cada una de las zonas mencionadas anteriormente, se seleccionan cuencas de drenaje con áreas de captación entre 200 y 6000 km², para recolectar muestras de sedimentos de llanura de inundación: sedimentos de *floodplain*, de sobrebanca y suelos aluviales, procurando un cubrimiento sistemático tomando como referencia las celdas de 160 x 160 km² de la red de muestreo geoquímico global (Introducción, figura 4).



FIGURA 4. Fases de muestreo para mapeo geoquímico de Ultra Baja Densidad (UBD).

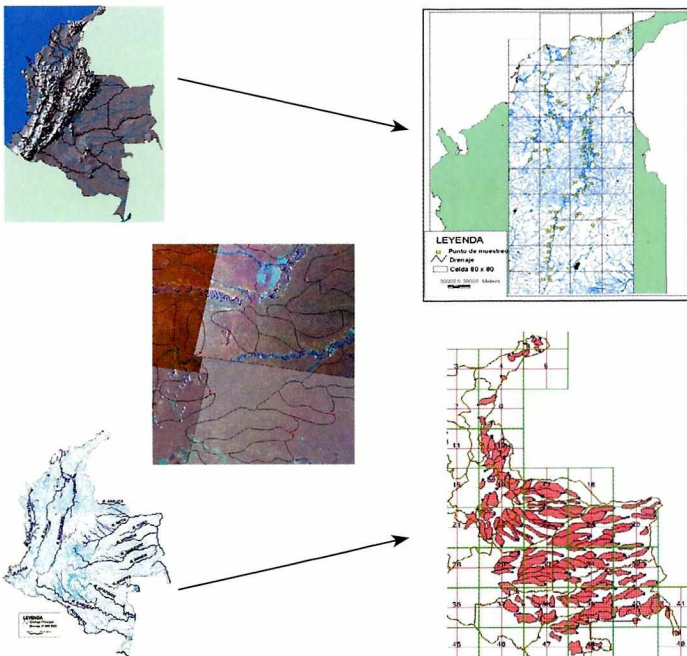


FIGURA 5. Diseño de muestreo para mapeo de Ultra Baja Densidad (UBD).

Recomendaciones generales de muestreo

- Todos los sitios de muestreo se deben georreferenciar (coordenadas geográficas y planas) por medio de un GPS y se corrigen las coordenadas sobre planchas topográficas del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (Igac).
- Cada muestra de sedimento de llanura de inundación se recolecta de un solo sitio.
- Los sitios de muestreo deben estar alejados de fuentes evidentes de contaminación por actividades antrópicas, a distancias prudenciales de carreteras (mínimo 50 m).
- Para la muestra de datación, se debe tener la precaución de no tomar muestra expuesta al aire o que se haya alterado visiblemente.
- Para efectuar el muestreo y evitar posibles contaminaciones con metales, se utilizan instrumentos de materiales plásticos o de madera sin pintar y herramientas en acero inoxidable (aleaciones no contaminantes).
- Para manipular las muestras se deben usar guantes de polipropileno desechables.
- Al coleccionar muestras superficiales y profundas, se debe tener la precaución de tomar la muestra profunda primero, en cada sitio de muestreo, y luego recolectar la muestra superficial. Este procedimiento evita tener que limpiar la superficie de la capa profunda, del material caído de la muestra superficial, si se toma primero esta última.

Identificación de las muestras

Para estandarizar la codificación de las muestras, y evitar confusiones, se deben utilizar identificadores simples que se asocien al tipo de muestra recolectada.

Cada etiqueta de marcado de las muestras contiene cuatro dígitos ABCD para indicar el número de la cuenca muestreada, tres letras para identificar el tipo de muestra y dos letras en caso de que sea un duplicado:

ABCD XXX DD

donde,

A y B: estos dos dígitos indican el número de celda de 160 x 160 km de la red geoquímica de referencia global, que para Colombia se han numerado del 1 al 57.

C y D: estos dos dígitos indican el número de la cuenca que se va a muestrear. La numeración de las cuencas se empieza de oeste a este y de norte a sur, tomando como referencia cada celda de 160 x 160 km, y dentro de ellas las subceldas de 80 x 80 km en que se han subdividido.

A continuación se indica el tipo de muestra, así:

SFS: para sedimento de llanura de inundación superficial.

SFP: para sedimento de llanura de inundación profundo.

Por ejemplo, para la muestra de sedimento superficial de llanura de inundación de la celda 21, cuenca 2, la etiqueta de marcado es 2102-SFS.

Si la muestra corresponde a un duplicado de celda, se deben adicionar las letras DC, ejemplo: 2102-SFSDC.

Si la muestra corresponde a un duplicado de sitio de muestreo, se deben adicionar las letras DM, ejemplo: 2102-SFSDM.

La muestra para datación se identifica como muestra profunda y se le añaden las letras DAT, ejemplo: 2102-SFPDAT

Nota. La numeración para cada sitio de muestreo se define antes de la recolección de la muestra en campo y los códigos se revisan para su ingreso a la base de datos de geoquímica.

Muestreo

En desarrollo del programa de muestreo de Ultra Baja Densidad, las muestras recolectadas se analizan para 71 elementos, utilizando metodologías estandarizadas (sensibilidad, precisión y exactitud) cuyos límites de detección permiten obtener valores de todos los elementos para mínimo el 90% de las muestras analizadas. Lo anterior implica

que los protocolos de muestreo establecidos sean seguidos paso a paso para garantizar representatividad y evitar contaminación durante la recolección de las muestras y después de ésta.

En este aparte se presentan las consideraciones generales sobre el tipo de muestras que se colectan, los procedimientos y las precauciones que se deben tener para el muestreo de Ultra Baja Densidad, utilizando sedimentos de llanura de inundación.

Recolección de las muestras

El muestreo se efectúa siguiendo protocolos estándar establecidos para muestreo geoquímico sistemático de reconocimiento estratégico de Ultra Baja Densidad (UBD). Los protocolos detallados para la recolección de las muestras, mediciones radiométricas y toma de información en campo se presentan en protocolos de muestreo (p. 61).

Cada sitio y cada muestra se documentan (formato de captura de información en campo para muestreo de sedimentos de planicie de inundación, ver p. 61) con datos de campo que describen las condiciones generales del entorno en el momento del muestreo (litología, clima, paisaje, usos del suelo, vegetación, actividades antropogénicas), las propiedades físico-mineralógicas de las muestras químicas recolectadas (color, humedad, tamaño de partícula, textura, etc.), la descripción del perfil de sedimentación con levantamiento de columna y fotografías del entorno del sitio de muestreo y del perfil muestreado. Los datos contenidos en los correspondientes formatos de campo se incluyen en la faceta de muestra geoquímica del sistema de información Siger de Igeominas.

Los formatos de captura de información en campo para muestreo de sedimentos de planicie de inundación se presentan en el texto (p. 63).

Tipo de muestras de sedimentos de planicie de inundación, sobrebanca y suelos aluviales

Se debe recolectar suficiente material, de tal manera que se obtenga un mínimo de 0,5 kg de sedimento de granulometría <0,150 mm:

- 2 kg de sedimento superficial de llanura de inundación (*floodplain*), 0-25 cm después de retirada la capa vegetal (excluyendo *litter* y *humus* si están presentes).
- 2 kg de sedimento profundo (*bottom*) de llanura de inundación.

- *Muestras duplicado.* Tomar duplicados de muestras de sedimentos de llanura de inundación en subceldas seleccionadas aleatoriamente (10% del total de muestras colectadas en cada celda de 160 x 160 km). Tomar duplicados de celda en cuencas seleccionadas aleatoriamente (10% del total de muestras colectadas en cada celda de 160 x 160 km). Si se requiere, se pueden tomar cantidades mayores de muestra.

Materiales, equipos y reactivos

Los materiales, equipos y reactivos utilizados para la recolección de muestras de sedimentos de llanura de inundación (*floodplain*) se describen detalladamente en texto (p. 52).

Muestreo de sedimentos de llanura de inundación, sobrebanca y suelos aluviales

Empezar con el estudio de la secuencia del sedimento de llanura de inundación depositado en un ambiente de baja energía y seleccionar una sección apropiada que contenga varias capas de material de granulometría fina, como limoarcilloso, arcillolimoso. Es importante tener en cuenta que los guijarros presentes en el material de granulometría fina y los lechos de gravas indican ambientes de media a alta energía, respectivamente.

Evitar los sitios adyacentes a carreteras o acequias (zanjas) (distancia mínima de 100 m).

En cada sitio de muestreo de sedimento de llanura de inundación expuesto, se debe empezar por limpiar el humus superficial y el *litter*, y luego cortar con una pala de acero una sección vertical a lo largo de la secuencia de sedimento expuesto, de tal modo que quede expuesta para el muestreo una superficie vertical limpia. Se debe retirar la vegetación superficial viva, el *litter* fresco y las raíces grandes, usando guantes plásticos

Recolectar la muestra de sedimento de llanura de inundación (*floodplain*) de un solo sitio.

Recolectar una muestra de sedimento de llanura de inundación (figura 6) de la capa más superficial (A_{0-25}), de los 25 cm más superficiales luego de retirada la capa vegetal. Después, anotar en la ficha de observaciones de campo la profundidad del intervalo muestreado.



FIGURA 6. Opciones de muestreo de sedimentos de llanura de inundación: a) apertura de apique (río Manzanares); b) Perfil descubierto por procesos naturales (río Bogotá).

Recolectar una muestra de fondo, de sedimento de llanura de inundación, de la capa más profunda (los 25 cm más profundos) de la sección expuesta, justo sobre el nivel del agua del río; anotar en la ficha de observaciones de campo la profundidad del intervalo muestreado. Lo ideal sería que la muestra profunda fuera recolectada inmediatamente sobre el lecho de grava, pero esto no siempre es posible, de tal modo que se puede muestrear la capa más profunda que sea posible, porque el objetivo es alcanzar una capa que no esté afectada por actividades humanas (figura 7).



a



b



c



d

FIGURA 7. Muestreo de sedimentos de llanura de inundación: planicies de inundación de los ríos La Miel y Negro, y apiques para muestreo en los ríos Manso y Coello.

Si se recolectan muestras superficiales y profundas, tomar la capa profunda primero, en cada sitio de muestreo, y luego recolectar la capa superficial. Este procedimiento evita tener que limpiar la superficie de la capa profunda, del material caído de la muestra superficial, si se tomara primero esta última.

Es importante evitar, durante todas las etapas de muestreo, la contaminación por metales, teniendo en cuenta las siguientes precauciones y recomendaciones:

- No llevar joyas o implementos médicos o quirúrgicos durante el muestreo. Si se utilizan implementos médicos, deben usarse todo el tiempo guantes de caucho de trabajo pesado, para evitar la contaminación de las muestras.
- Las herramientas de muestreo deben ser de madera (sin pintar, natural), polietileno (plástico) o acero (pala sin pintar). Se debe evitar el uso de equipos de aluminio o de latón.
- No se debe permitir fumar o tener en funcionamiento el motor del carro, mientras se toma la muestra de sedimentos de llanura de inundación (*floodplain*).
- Se recomienda, por protección, usar guantes de caucho desechables durante todo el muestreo (uno por cada muestra).
- Las muestras de llanura de inundación (*floodplain*) se deben recolectar siguiendo las etapas descritas en la p. 54 de este manual.

Documentación fotográfica

En cada sitio de muestreo se toman fotografías (mínimo dos): una presenta una vista general del sitio de muestreo en relación con la corriente/canal del río y la otra de un acercamiento del apique o del perfil de los horizontes de muestreo (figura 8).

Antes de tomar la segunda fotografía, se marcan las capas del sedimento aluvial, que se puedan diferenciar. Se coloca sobre la superficie del apique una cinta métrica de madera coloreada alternadamente por secciones (cada 10 cm), como escala de referencia. El objetivo es mostrar las capas y las características texturales del perfil aluvial muestreado.

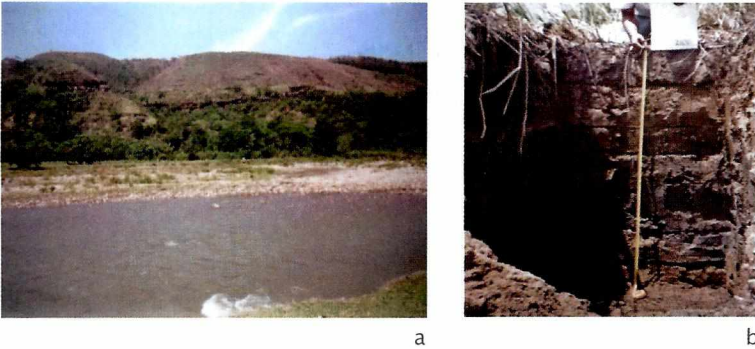


FIGURA 8. Planicie de inundación del río Guarinó: a. Perfil de sedimentación en la cuenca del río Recio; b. Muestreados en la fase I del muestreo de Ultra Baja Densidad en Colombia.

Control

En una de las celdas de 80 x 80 km se selecciona aleatoriamente una cuenca adicional para tomar un duplicado de celda (10% del número total de cuencas muestreadas). La muestra se toma siguiendo los protocolos para toma de muestras, detallados en la p. 54 de este manual.

En cada celda de 160 x 160 km se selecciona aleatoriamente una cuenca en la cual se toma un duplicado de muestreo que se puede recolectar del mismo apique o abriendo otro apique, a una distancia no mayor de diez metros (en la misma margen) del sitio original. La muestra se toma siguiendo los protocolos para toma de muestras, detallados en la p. 54 de este manual.

Preservación y envío de las muestras

Las muestras de sedimentos de llanuras de inundación debidamente rotuladas y empacadas, es decir, con su identificación y dentro de doble envoltura plástica, se colocan en cajas de plástico (convenientemente identificadas) y se remiten con la mayor brevedad posible a los laboratorios de Ingeominas (cada semana, o cada quince días).

Observaciones de campo

Como parte integral de la descripción y documentación de los sitios y las muestras recolectadas, se elaboró una ficha para captura de información en campo para muestreo de Ultra Baja Densidad.

Coordenadas de los sitios de muestreo

Los sitios de muestreo se registran cuidadosamente sobre mapas topográficos a escala 1:100.000 o 1:50.000, y se digitalizan en las planchas correspondientes. Se anotan las respectivas coordenadas (mapa y GPS) en los formatos de captura de datos de campo (ver p. 61).

Características de la cuenca y del sitio de muestreo

En la ficha se contemplan la recolección de datos sobre el tipo de muestras colectadas (superficial, profunda, para datación), características generales de la cuenca muestreada y descripción de las condiciones generales del sitio de muestreo en el momento de la recolección de la muestra de sedimento de planicie de inundación (litología, clima, paisaje, usos del suelo, vegetación, actividades antropogénicas).

Características de las muestras colectadas

Se registran las características y propiedades físico-mineralógicas de las muestras de sedimentos de llanura de inundación y de suelos aluviales colectados (color, humedad, tamaño de partícula, composición, etc.), tanto de la muestra superficial (A_{0-25}) como de la muestra profunda.

Se anotan los datos de mediciones radiométricas efectuadas a lo largo del perfil. En la ficha se incluye adicionalmente una sección de comentarios con el objetivo de anotar la información suplementaria, significativa, si existe. Cualquier desviación de la rutina de muestreo debe anotarse, como por ejemplo el uso de joyas, si se fuma, o el no uso de guantes, etc., durante el muestreo.

Perfil de sedimentación

Como parte fundamental de la documentación del sitio de muestreo se levanta una columna del perfil de sedimentación (0 a 200 cm, escala 1:10), se anotan los datos litológicos, granulométricos, mineralógicos de los estratos o capas del perfil y se registran los respectivos estratos muestreados (muestra superficial, profunda y para datación).

Fotografías

Se deben tomar fotografías en color en todos los sitios de muestreo (paisaje y perfil de sedimentación) y anotar la secuencia en las fichas de observaciones de campo. Después de procesada, hay que marcar cada

fotografía cuidadosamente en el reverso con un marcador de tinta indeleble de punta fina y archivarla como parte de la documentación de cada muestra.

Las fotografías forman un grupo de referencia único y muy importante de todos los sitios de muestreo, por lo que es clave tener un buen resultado y la certeza de tomar todas las características del perfil de sedimentación. Esto significa usar una buena cámara, asegurar nitidez en cada toma, marcar con claridad cada foto y archivarlas convenientemente (fotos y negativos correspondientes).

Espectrografía de rayos Gamma

La medición de espectrometría de rayos gamma puede tomarse en el sitio de muestreo, haciendo un recorrido de techo a base del perfil de sedimentación en el apique excavado o en el perfil descubierto, si es el caso.

Se usa cintillómetro portátil con umbral de cinco canales (ejemplo, Miniscint UG 130, hecho por Urec Ltda., o un modelo similar). Estos instrumentos tienen la opción de tomar cinco medidas a diferentes niveles de energía, como por ejemplo dos cuentas totales, una K+U+Th, U+Th y Th.

Se puede emplear cintillómetro portátil (modelo SPPY) con detector de centelleo de NaI (Tl) de 1,5 x 1,5 pulgadas, diseñado para trabajo en campo y para la detección de radiación gamma proveniente de elementos como el potasio, el uranio y el torio. Otro tipo de espectrómetros para medir radiación en campo también pueden utilizarse.

El tipo de instrumento (modelo, serie, etc.) se registra en el formato de Captura de información en campo para muestreo de sedimentos de planicie de inundación (p. 61) y se anotan los datos correspondientes a la calibración y a la mayor radiación obtenida en el perfil.

Preparación y archivo de las muestras

Las muestras de sedimentos de planicie de inundación (*floodplain*), sobrebanca y suelos aluviales superficiales, profundas y para datación, recolectadas en el programa de muestreo de Ultra Baja Densidad se reciben en los laboratorios de Ingeominas y se someten a un proceso de preparación primaria, se cuarteán, empacan y se archivan en el

caso de los testigos o se envían a laboratorios especializados para los análisis respectivos.

La preparación adecuada de las muestras es garantía de un buen resultado analítico, por lo que las recomendaciones que se han presentado para evitar contaminación durante la recolección de las muestras deberán seguirse rigurosamente durante la etapa de preparación.

Un aspecto que se considera importante es la adecuación de espacios específicos para secado y almacenamiento de las muestras recolectadas, los cuales deben ser limpios, estar libres de corrientes de aire y convenientemente protegidos de precipitaciones atmosféricas, de tal modo que se evite la contaminación cruzada entre muestras, contaminación con otro tipo de muestras y contaminación con precipitaciones de la atmósfera. Lo anterior es especialmente crítico si se considera que las muestras se analizan para 71 elementos a niveles de trazas y ultratrazas (μg , ng).

Equipos

- Bandeja o caja para secado (plástico libre de metales).
- Mortero con mango de madera (porcelana, o material libre de metales) para disgregar muestras.
- Tamiz de nailon de apertura de malla de 0,15 mm.
- Tamiz de nailon de apertura de malla de 2 mm.
- Cuarteador (material libre de metales).
- Cepillo de nailon para limpieza (aire a presión).
- Acetona (limpieza).
- Agua desionizada (limpieza).
- Recipientes de polietileno de 100 g (polietileno, PE) para empaque de muestras para análisis en Ingeominas y para envío a laboratorios externos.
- Recipientes de PE de 100 g para empaque de muestras duplicados.
- Recipientes de PE de 500 g para empaque de testigos.
- Etiquetas de laboratorio adhesivas para marcado de cada sub-muestra.
- Marcadores de tinta indeleble de punta fina.

Procedimiento para preparación y archivo de muestras

El proceso de preparación primaria seguido en el Laboratorio de Geoquímica de Ingeominas incluye las siguientes etapas (figura 9):

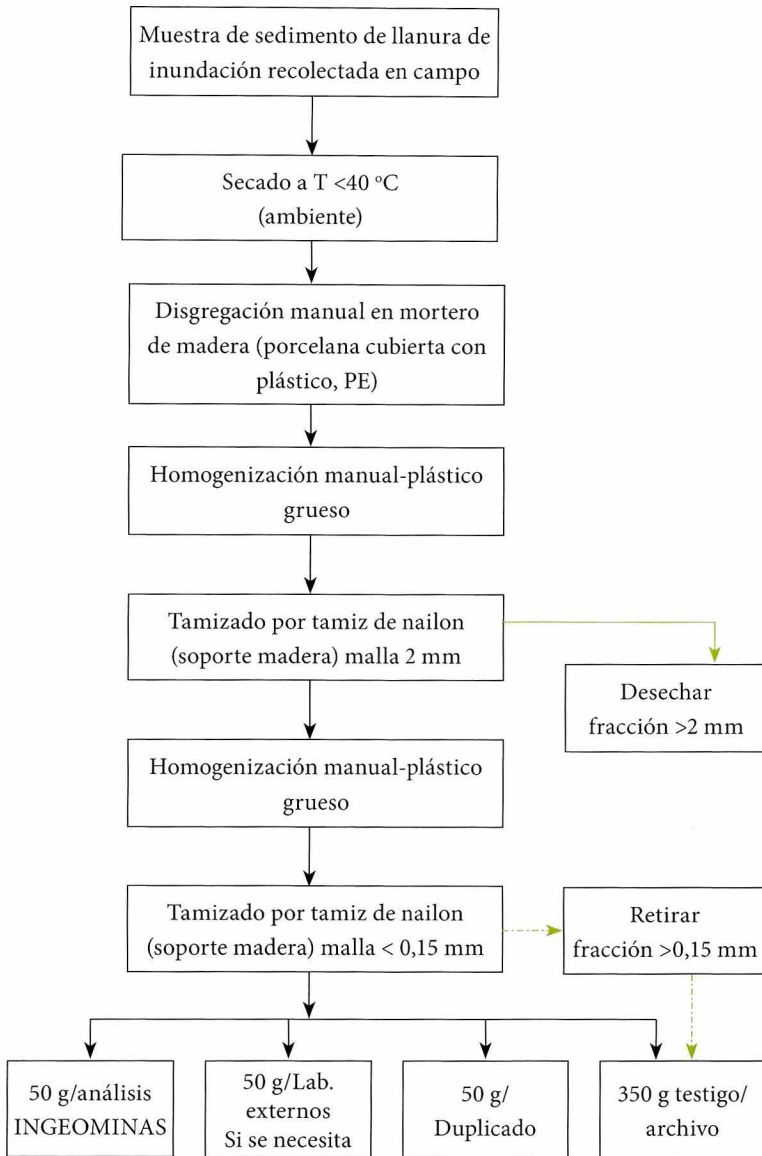


FIGURA 9. Esquema del procedimiento de tamizado seco para muestras de sedimentos de llanura de inundación.

1. Desempacar, verificar la identificación y organizar las muestras en un área especial libre de toda contaminación.
2. Extraer las muestras de las bolsas plásticas y colocarlas en recipientes de material no contaminante (plástico o acero inoxidable), las cuales deben estar completamente limpias, secas y rotuladas en forma apropiada. Retirar manualmente aquellos materiales que no hagan parte de la muestra, tales como hojas, raíces, tallos, plásticos, etc.
3. Colocar los recipientes que contienen las muestras en el espacio acondicionado para secado, a una temperatura que no exceda los 40 °C.
4. Disgregar las muestras ya secas (en caso de que estén aglomeradas) con un artefacto plástico o de madera (martillo) y retirar manualmente el material (raíces, tallos, etc.) que no forma parte de la muestra y que aún permanezca en ésta.
5. Homogeneizar manualmente mediante el uso de material plástico.
6. Tamizar las muestras y pasar todo el material por un tamiz libre de contaminantes (malla de nailon con borde de madera) de malla n.º 20 (serie Tyler, norma ASTM 11-70) y desechar el material que no pase la malla mencionada (malla n.º 20).
7. Homogeneizar manualmente mediante el uso de material plástico (homogeneización diagonal).
8. Cuartear en cuartedor libre de contaminantes y pesar hasta obtener 250 g de muestra.
9. Empacar las muestras en recipientes plásticos, rotulados con el código asignado, y luego empacar en bolsa de lona para enviar a los laboratorios externos acreditados, como el Institute of Geophysical and Geochemical Exploration (IGGE) de China. El protocolo de preparación seguido por el IGGE en China incluye pulverización en mortero de ágata hasta que toda la muestra esté en un tamaño de partícula equivalente a malla n.º 150 o 200 y homogeneización con el fin de tomar muestra para cada análisis.

Para evitar contaminación, durante la preparación de las muestras se deben seguir rigurosamente estas recomendaciones:

- No llevar joyas durante la preparación. Se deben usar, todo el tiempo, guantes de caucho, para evitar la contaminación de las muestras.
- Utilizar los elementos de preparación de madera (sin pintar, natural) o polietileno (plástico). Se ha de evitar el uso de equipos de aluminio o de latón. Si se emplean morteros de porcelana o ágata (o de cualquier otro material) debe anotarse en la ficha de documentación de la muestra y enterar al laboratorio que efectuará los análisis respectivos.
- Acondicionar un salón exclusivo para secado de muestras (a $T < 40\text{ }^{\circ}\text{C}$).
- Disponer de un salón especial y exclusivo para preparación de muestras.
- Adecuar un salón exclusivo para archivo ordenado de testigos.
- Prohibir fumar en el lugar de secado o almacenamiento de las muestras y durante la preparación.
- Proporcionar a los encargados de la preparación de las muestras los elementos de protección, higiene y seguridad industrial reglamentarios.
- Mantener perfectamente limpios los recipientes utilizados para el secado y los tamices.
- Limpiar cuidadosamente el equipo utilizado (morteros, bandejas, tamices, cuarteadores, cepillos, etc.). Se recomienda usar corriente de aire limpio y agua y acetona.
- Guardar especial cuidado en la marcada de las muestras para enviarlas a los respectivos laboratorios de análisis o para archivo de testigos.
- Archivar cuidadosamente las muestras testigos. Las muestras deben estar selladas herméticamente y bien marcadas.

Metodología de análisis

Las muestras recolectadas en el programa de muestreo de Ultra Baja Densidad efectuado en las zonas en que se ha dividido el territorio colombiano: Fase I. Zona Centro y Norte del país: áreas Magdalena-Cauca y Caribe; Fase II. Zona del Oriente colombiano: áreas Orinoco, Amazonas, Catatumbo; Fase III: Zona Occidental: área Pacífico, y Fase IV. Zona Sur-Amazonas y sur del país, son analizadas para 71 elemen-

tos en los laboratorios del IGGE de China y de Ingeominas (figura 10), según los protocolos estandarizados y aceptados por los servicios geológicos participantes en el Levantamiento de Información Geoquímica Global (Working Group on Geochemical Baselines).



FIGURA 10. Tratamiento de muestras, Laboratorio de Geoquímica de Ingeominas.

Los requerimientos analíticos establecidos por el IGGE de China y por los servicios geológicos involucrados en cartografía geoquímica se sintetizan en los siguientes puntos (China Geological Survey, 2001):

- Los límites de detección (LD) de los elementos trazas deben ser inferiores a sus valores de abundancia en la corteza terrestre, de tal modo que se pueda tener acceso al máximo de información geoquímica de las muestras colectadas y, a su vez, los datos obtenidos puedan aplicarse con múltiples propósitos.
- La desviación analítica entre los laboratorios debe reducirse al máximo, de tal manera que los datos obtenidos sean comparables entre regiones y entre países.

- Para garantizar la exactitud de las mediciones obtenidas, los protocolos analíticos deben estar enmarcados en un programa de control de calidad analítica que incluya el uso de materiales patrón (estándar), primarios y secundarios.
- Se debe utilizar un método de análisis multielemento, como base para cubrir un gran número de elementos mayores, menores y trazas simultáneamente.
- Los elementos con baja abundancia en la corteza deben tratarse separadamente y analizarse por el método más apropiado disponible (menores límites de detección y máxima precisión y exactitud).
- Los laboratorios deben estar calificados para efectuar mediciones que garanticen el control de calidad analítica (sistema de calidad analítica).

En el IGGE de China se someten las muestras a un esquema “multimétodo”, que incluye XRF-ICP-MS como base, junto con otros métodos, tales como HGAFS, GFAAS, F-AAS, AES, POL, ISE, CT-COL, IC, CA-AES, GRA.

Metodología de tratamiento estadístico de datos y producción de mapas

Los datos obtenidos en el muestreo de UBD los procesan y analizan el grupo de geoquímica de Ingeominas, de acuerdo con los métodos consignados en el *Manual de procesamiento de datos*, además de recoger experiencias, recomendaciones y estándares institucionales e internacionales, con especial atención a la asistencia técnica del IGGE de China.

La producción de mapas (figura 11) se realiza siguiendo estándares desarrollados por el proyecto en referencia y las recomendaciones del IGGE y de otros servicios geológicos participantes en el Programa de Mapeo Geoquímico Global (Ingeominas, 2004).

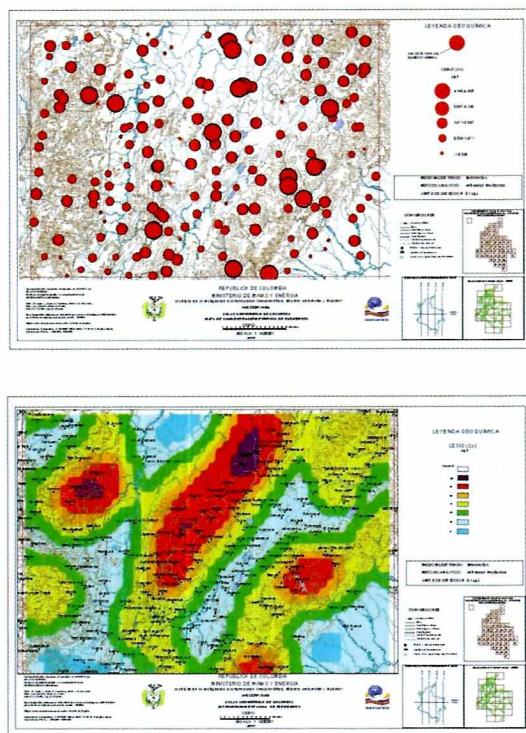


FIGURA 11. Mapas de puntos y de distribución espacial de elementos químicos producidos en muestreo geoquímico.

Protocolos de muestreo

Ficha técnica para muestreo de sedimentos de planicie de inundación, sobrebanca y suelos aluviales

Alcance y campo de aplicación

Las metodologías utilizadas en el levantamiento de información geoquímica mediante muestreo de Ultra Baja Densidad (UBD) se ajustan a las normas y requerimientos del proyecto internacional IGCP 259 y 360, para muestreo de sedimentos de llanura de inundación (*floodplain*) y sedimentos de sobrebanca (*overbank*), (Darnley et ál., 1995 & Salminen et ál., 1998), las cuales se han adaptado a las condiciones particulares del territorio colombiano.

Los sedimentos de llanura de inundación (*floodplain*) y sobrebanca representan el aluvión de las cuencas de drenaje y se depositan fuera

del cauce principal, durante eventos de inundación, en ambientes de baja energía. Las muestras se deberán recolectar en las llanuras aluviales cerca del punto de confluencia de las corrientes con el río principal, de orden mayor.

Para obtener un cubrimiento sistemático y homogéneo del territorio, se ha adoptado la división en celdas de 160 x 160 km, de la red de muestreo geoquímico global (Darnley et ál., 1995). Cada una de las celdas anteriores se subdividen en celdas de 80 x 80 km y en estas últimas se seleccionan aleatoriamente cuencas para recolectar muestras de llanura de inundación o suelos aluviales (cuencas de captación entre 200 y 6000 km²).

En algunas cuencas de drenaje seleccionadas aleatoriamente (10% del número de cuencas muestreadas en cada celda de 160 x 160 km), se toman duplicados que se denominan duplicados de celda; además, se toma un 10% de duplicados en el mismo sitio de muestreo, las cuales corresponden a duplicado de muestra.

Principios y definiciones

- Los sedimentos de llanura de inundación (*floodplain*) representan el aluvión de la cuenca de drenaje (cuencas entre 1000-6000 km²) depositados durante eventos de inundación en ambientes de baja energía.
- Los sedimentos de llanura de inundación son uno de los medios de muestreo recomendados por el grupo de trabajo del proyecto Líneas Base Geoquímicas Globales de la Unión Internacional de Ciencias Geológicas (IUGS, por su sigla en inglés), porque son representativos de grandes áreas de la superficie terrestre y por tanto tienen gran relevancia a escala nacional, continental y global (Darnley et ál., 1995).
- Los sedimentos de llanura de inundación (*floodplain*), al igual que los sedimentos de sobrerbanca (*overbank*), son afectados en gran medida por actividades antropogénicas recientes y pueden estar contaminados; por tanto, es importante tener en cuenta estos aspectos en la interpretación de los resultados.
- Los estudios de sedimentos de llanura de inundación permiten hacer interpretaciones geoquímicas de grandes áreas que pueden ser de gran utilidad en forma rápida (menos muestras) y a un menor costo.

- Siempre que se muestreen sedimentos de llanura de inundación, se tomará una muestra de 0-25 cm de profundidad; se puede tomar una muestra más profunda, en lo posible en el nivel inmediatamente superior al nivel de gravas o la mayor profundidad posible entre 60 y 200 cm.

Selección de sitios de muestreo

Para adquirir información geoquímica utilizando un muestreo de Ultra Baja Densidad (UBD), se han definido como unidades básicas de muestreo las cuencas de drenaje cuya área de captación esté entre 1000 y 6000 km², en cuyo caso se recolectan sedimentos de *floodplain*; cuencas de drenaje con áreas de captación entre 500 y 1000 km², en cuyo caso se recolectan sedimentos de *overbank*, y en zonas montañosas cuencas entre 200 y 500 km², donde se colectan los suelos aluviales (origen fluvial).

Para garantizar un cubrimiento espacial homogéneo y permitir el manejo de datos, se ha diseñado una red de muestreo que toma como referencia la red de muestreo geoquímico global con celdas de 160 x 160 km, las cuáles se subdividen en celdas de 80 x 80 km. En cada celda de 80 x 80 km se delimitan las cuencas y se seleccionan dos de ellas para coleccionar las muestras correspondientes. Aleatoriamente, en una celda de 80 x 80 km se toma otra cuenca para coleccionar una muestra que corresponde a duplicado de celda y en una de las cuencas muestreadas se toma otro punto de muestreo que corresponde a duplicado de muestreo.

El sitio de recolección de la muestra se debe localizar en la llanura aluvial de la cuenca seleccionada en el punto más bajo de la cuenca de drenaje, cerca del punto de confluencia de la corriente (de orden menor) con el río principal (de orden mayor).

El sitio de muestreo deberá estar alejado por lo menos 50 m, de caminos, carreteras, puentes, casas, basureros, o sitios de concentración de actividad antrópica evidente. En caso de presentarse alguna de las situaciones anteriores, el sitio de muestreo deberá ubicarse a por lo menos 50 m aguas arriba. Debe verificarse que el sitio seleccionado corresponda a la llanura de inundación del afluente y no a la del río principal, de orden mayor. Lo anterior se puede verificar avanzando algunos kilómetros aguas arriba de la desembocadura del afluente seleccionado (cuenca de drenaje), dependiendo del tamaño de la cuenca considerada.

Tipos de muestras

En el muestreo de Ultra Baja Densidad se colectan muestras de sedimentos de llanura de inundación (*floodplain*) en cuencas de drenaje con áreas entre 1000 y 6000 km², y sedimentos de sobrebanca (*overbank*) en cuencas de drenaje con áreas entre 200 y 1000 km².

En cada sitio de muestreo se recolectan una muestra superficial ($A_{0.25}$) y una muestra profunda.

Adicionalmente, se toman muestras para datación (por el método de carbono 14) del estrato o capa con mayor contenido de material orgánico (carbonáceo, turba, etc.) y se levanta información radiométrica, utilizando un detector de centelleo.

En cuencas de drenaje seleccionadas aleatoriamente (10% del número de cuencas), se toman duplicados de celda y duplicados de muestreo.

Precauciones generales de muestreo

Todos los sitios de muestreo se deben georreferenciar (coordenadas geográficas y planas) mediante un GPS, comparando con las coordenadas obtenidas sobre planchas topográficas del Igac.

Cada muestra de sedimento de llanura de inundación se recolecta de un solo sitio.

Los sitios de muestreo deben estar alejados de fuentes evidentes de contaminación por actividades antrópicas, a distancias prudenciales de carreteras (mínimo 50 m).

Para la muestra de datación, se debe tener la precaución de no tomar muestra expuesta al aire o que se haya alterado visiblemente y que corresponda a la capa o estrato en el cual se aprecie mayor contenido de material orgánico (carbonáceo, turba, etc.).

Para efectuar el muestreo y evitar posibles contaminaciones con metales, se deben utilizar instrumentos en materiales plásticos o de madera sin pintar, o en su defecto se podrán usar herramientas en acero inoxidable de alta calidad o aleaciones especiales no contaminantes. No se podrán utilizar herramientas de aluminio o latón o de acero pintado.

Para manipular las muestras hay que usar guantes de polipropileno desechables. Por ningún motivo se deben tocar las muestras directamente con las manos.

Al colectar muestras superficiales y profundas, se debe tener la precaución de tomar la capa profunda primero, en cada sitio de muestreo, y luego recolectar la capa superficial. Este procedimiento evita que la

capa profunda se contamine con material caído de la muestra superficial, si se tomara primero esta última.

En la columna deben marcarse la profundidad y el espesor de cada muestra tomada (superficial, profunda, para datación).

Recolección de muestras

Materiales y equipos

- Bolsas plásticas de polietileno transparente de alta densidad (material libre de metales) con capacidad para 2-3 kg de muestra (30 x 50 cm).
- Etiquetas autoadheribles blancas de 10 x 5 cm.
- Formatos de Captura de información en campo para muestreo de sedimentos de planicie de inundación (p. 63).
- Guantes desechables (un par por muestra).
- Cinta transparente ancha de 5 cm (2,5 pulgadas).
- Muestreador cilíndrico o pala, material libre de metales.
- Pala o pica sin pintar y cuchara de plástico o de acero de alta calidad.
- Medidor métrico plegable de madera o plástico, de 2 m de longitud (material libre de metales).
- Marcadores de tinta indeleble (preferiblemente de color negro o azul).
- Cajas plásticas para transporte de muestras (42 x 40 x 30 cm de alto, aproximadamente).
- Mapas (mapas topográficos, preferiblemente a escala 1:100 000 de donde existan o en su defecto a escala 1:200 000).
- Fotografías aéreas e imágenes satelitales (si están disponibles).
- Elementos para trabajo geológico (brújula, martillo, navaja, lupa 10X, altímetro Thommen o de precisión, GPS).
- Detector de centelleo tipo SPP2, fuente de calibración.
- Cámara fotográfica de 35 mm, con sistema de enfoque variable que permita acercamientos y toma de detalles.

Identificación de las muestras

Cada etiqueta de marcado de las muestras contiene cuatro dígitos ABCD para indicar el número de la cuenca muestreada, tres letras para identificar el tipo de muestra y dos letras en caso de que sea un duplicado:

ABCD XXX DD

donde,

A y B: estos dos dígitos indicarán el número de celda de 160 x 160 km de la red geoquímica de referencia global, que para Colombia se han numerado del 1 al 57.

C y D: estos dos dígitos indicarán el número de la cuenca que se va a muestrear. La numeración de las cuencas se empieza de oeste a este y de norte a sur, tomando como referencia cada celda de 160 x 160 km, y dentro de ellas las celdas de 80 x 80 km en que se han subdividido.

A continuación se indica el tipo de muestra, así:

SFS: para sedimento de llanura de inundación superficial.

SFP: para sedimento de llanura de inundación profundo.

Por ejemplo, para la muestra de sedimento superficial de llanura de inundación ubicada en la celda 21, cuenca 02, la etiqueta de marcado es 2102-SFS.

Si la muestra corresponde a un duplicado de celda, se deben adicionar las letras DC. Ejemplo: 2102-SFSDC.

Si la muestra corresponde a un duplicado de sitio de muestreo, se deben adicionar las letras DM. Ejemplo: 2102-SFSDM.

La muestra para datación se identifica como muestra profunda y se le añaden las letras DAT. Ejemplo: 2102-SFPDAT.

Nota. La numeración para cada sitio de muestreo se define antes de la recolección de la muestra en campo y se suministrará al equipo de muestreo.

Procedimiento de muestreo

Antes del traslado al sitio de muestreo, se deberán establecer las alternativas de acceso a este.

El acercamiento al sitio de muestreo se deberá controlar mediante al menos tres (3) localizaciones (GPS) identificables, las cuales tendrán que grabarse en el equipo GPS.

En la planicie de inundación de la cuenca seleccionada, se ubica una sección en la cual se evidencie la ocurrencia de inundaciones periódicas recientes.

En el sitio seleccionado para la toma de las muestras y a una distancia prudente del borde del río (5 a 10 m), se hace un apique y se examina la secuencia del sedimento de llanura de inundación. El punto seleccionado debe poseer una sección apropiada, depositada en un ambiente de baja energía, que contenga varias capas de material de granulometría fina, como por ejemplo limo-arcilloso, arcillo-limoso. Es importante tener en cuenta que los guijarros y los lechos de gravas indican ambientes de media a alta energía, respectivamente y no son apropiados para este tipo de muestreo.

En caso de encontrarse un perfil de llanura de inundación descubierto y preservado (terrazza de llanura de inundación), se puede tomar la muestra y describir dicho perfil, tal como se describe en el numeral 15 (p. 57).

La recolección de la muestra se realiza siguiendo estas etapas:

1. Calibrar el detector de centelleo según procedimiento descrito en la p. 60, y anotar los resultados en el formato de datos de campo.
2. Marcar el sitio de muestreo en el mapa topográfico de campo. Se recomienda escribir el número identificador de la cuenca sobre el mapa, cerca del punto de muestreo. Adicionalmente se deberá colocar, en un sitio visible, una cinta con el respectivo código de la muestra recolectada, para facilitar las labores de reconocimiento posterior.
3. Poner la etiqueta con el identificador de la muestra sobre la bolsa plástica de muestreo y colocar protector de cinta transparente (5 cm) para evitar que se pierda la numeración. Opcionalmente, en caso de

no disponer de etiquetas, poner el identificador sobre la bolsa plástica y protegerlo con cinta transparente.

4. Tomar las coordenadas geográficas con GPS y la altitud con altímetro Thommen o de precisión; anotar los datos obtenidos en el formato de Captura de información en campo para muestreo de sedimentos de planicie de inundación (p. 61) y completar los detalles descriptivos del sitio de muestreo. En las observaciones, referenciar un sitio fácilmente reconocible en campo (ejemplo: a 200 m al NE de la escuela NN). Los equipos GPS se deberán calibrar de acuerdo con el sistema de coordenadas con origen Bogotá o Magna Sirgas, y actualizados con la fecha y hora correspondientes. La localización de cada punto deberá efectuarse en coordenadas geográficas (latitud y longitud, en grados, minutos, segundos y fracción de segundos) y grabarse en el equipo correspondiente. Localizar y marcar sobre los mapas topográficos el sitio de muestreo.
5. Retirar la capa orgánica superficial (humus o *litter*), luego cavar un apique de 1,00 x 0,80 x 2,00 m de profundidad máxima. En caso de encontrar la tabla de agua o estratos de grava antes de los 2,00 m, se tomará este nivel como el más profundo del apique, siempre y cuando se encuentre por debajo de los 60 cm. Si no se cumple lo anterior, se debe buscar un sitio alternativo para hacer el apique de muestreo.
6. Levantar la columna o descripción del perfil del depósito aluvial, mostrando la sucesión de los estratos del perfil, y describir de manera detallada los materiales que componen las diferentes capas, haciendo énfasis en aspectos tales como color, contenido de materia orgánica, textura, composición en relación con el tamaño de grano y composición (cuarzo, feldespato, fragmentos líticos, etc.), tal como se describe en el formato de Captura de información en campo para muestreo de sedimentos de planicie de inundación (p. 63). La escala para presentar la columna debe ser de 1:10.
7. Efectuar la toma de las muestras, de modo que sean representativas de toda la sección del estrato seleccionado (0,80 x 1,00 m), recolectando primero la muestra profunda y posteriormente la superficial: se limpia el perfil y se recolectan 2 kg de sedimento de llanura de inundación, de la capa más profunda alcanzada (los 25 cm más profundos), sobre el nivel de gravas o de la tabla de agua; anotar en el

formato de captura de datos de campo la profundidad del intervalo muestreado y marcar la capa muestreada en la columna respectiva. La muestra profunda se deberá recolectar en la capa de sedimentos finos que esté inmediatamente sobre el lecho de grava, pero esto no siempre es posible, de tal modo que se debe muestrear la capa más profunda (material de granulometría arcillosa-arcillolimosa) alcanzable (hasta los 2 m) y que no tenga signos evidentes de actividad antrópica tales como plásticos, en cuyo caso es preferible proceder a abrir un nuevo apique para la toma de la respectiva muestra.

8. Recolectar, en una bolsa aparte, 2 kg de muestra del estrato que presente mayor contenido de material orgánico (carbonáceo, turba, etc.). La muestra se debe tomar del fondo (horizontal) del estrato seleccionado, el cual no debe tener evidencias de alteración o exposición al aire. Anotar la profundidad y el espesor del estrato muestreado y marcar la porción muestreada en la columna respectiva. Esta bolsa debe quedar herméticamente cerrada, evitando que haga contacto con el aire, puesto que se usa para datación.
9. Recoger la muestra superficial en el mismo perfil de la muestra profunda tomando 2 kg de sedimento superficial, entre 0 y 25 cm (después de retirar el material vegetal, el humus y el *litter* donde estén presentes), de tal manera que sea representativa de toda la sección del estrato seleccionado (0,25 x 0,80 x 1,00 m). Si el espesor de la capa superficial del sedimento es menor de 25 cm, anotar su espesor y el número de capas muestreadas para completar los 25 cm, en la ficha de observaciones de campo. Marcar la porción muestreada en la columna respectiva.
10. Tomar, en el mismo perfil en el cual se recolectó la muestra superficial, la lectura del detector de centelleo, según procedimiento descrito en la p. 60. Escribir el resultado de la lectura en el formato de campo presentado en la p. 62 (muestra superficial). Efectuar un barrido con el detector a lo largo del perfil y anotar, si hay cambios, las lecturas en la capa correspondiente.
11. Cerrar cada bolsa que contiene la muestra con un nudo y luego sellarla con cinta transparente de 2,5 pulgadas. Colocar cada bolsa sellada dentro de otra bolsa de polietileno y amarrar esta última con un nudo, para evitar contaminación cruzada durante el trans-

porte. Sellar la segunda bolsa completamente con cinta transparente (2,5 pulgadas) y marcar nuevamente con el identificador de la muestra, o colocar la etiqueta de identificación, protegiendo la marca con cinta transparente (2,5 pulgadas) para evitar pérdida de la numeración.

12. Limpiar completa y cuidadosamente el equipo de muestreo, después de recolectar cada muestra. Lavar el equipo de muestreo, previo y posterior a la toma de la muestra, con agua de la corriente de la cuenca muestreada.
13. Colocar las muestras en una caja de plástico para su transporte al laboratorio.
14. Llenar la calicata, apique o zanja abierta otra vez, con el mismo material retirado al abrirla.
15. Seleccionar, en el caso de muestrear un perfil descubierto, una porción que presente el perfil completo (no derrumbado). Proceder a limpiar la superficie expuesta del perfil, retirando 30-40 cm de espesor del material expuesto. Posteriormente se procederá a diligenciar el formato de campo, incluyendo la descripción de los estratos del perfil, y luego se tomarán la muestra profunda primero, la muestra para datación y finalmente la muestra superficial, tal como se describe en los numerales 1 al 13 (pp. 54-57).

Control

En una de las celdas de 80 x 80 km, seleccionar aleatoriamente una cuenca adicional para tomar un duplicado de celda (10% del número total de cuencas muestreadas). La muestra se toma siguiendo las etapas descritas en los numerales 1 al 13 (pp. 54-57). Las muestras se identificarán con el código particular de duplicado de celda.

En cada celda de 160 x 160 km se selecciona aleatoriamente una cuenca en la que se toma un duplicado de muestreo, abriendo otro apique, a una distancia no mayor de diez metros (en la misma margen) del sitio original. La muestra se toma siguiendo las etapas descritas en los numerales 1 al 13 (pp. 54-57). Las muestras se identificarán con el código particular de duplicado de muestra.

Fotografías

En cada sitio de muestreo se deberán tomar mínimo dos fotografías: una vista general del sitio de muestreo en relación con la corriente/canal del río y un acercamiento del apique o del perfil de los horizontes de muestreo. Antes de tomar la segunda fotografía, marcar con una herramienta apropiada (cuchillo o navaja) las capas del sedimento aluvial, si se pueden diferenciar, y señalar los límites de los estratos y sus características estructurales y texturales. Colocar sobre una de las paredes del apique (la que mejor muestre las capas) una cinta métrica de madera coloreada alternadamente por secciones (cada 10 cm), como escala de referencia que cubra todo el perfil.

Si se considera necesario, por existir rasgos geomorfológicos, geológicos o texturales de interés, pueden tomarse más fotografías, registrando la numeración correspondiente en el formato de Captura de información en campo para muestreo de sedimentos de planicie de inundación (p. 61).

Preservación y envío de las muestras

Las muestras de sedimentos de llanuras de inundación debidamente rotuladas y empacadas, es decir, con su identificación y dentro de doble envoltura plástica, se colocan en cajas de plástico o madera convenientemente identificadas, y se remiten con la mayor brevedad posible a los laboratorios de Ingeominas.

Procedimiento para toma de lecturas radiométricas con el detector de centelleo-tipo SPP2Y

Descripción del equipo

Se utiliza un detector de centelleo de NaI (Tl) de 1,5 x 1,5 pulgadas, diseñado para trabajo en campo y para la detección de radiación gamma. En este caso, básicamente las provenientes de radiación natural de elementos como potasio, uranio y torio. El equipo no diferencia entre las radiaciones emitidas por cada elemento pero puede ser un buen indicador de algunas anomalías. La lectura está dada en cuentas por segundo.

Funciona con tres pilas tipo D, preferiblemente alcalinas, y posee un probador para estas. Dentro del maletín del equipo se encuentra una fuente radiactiva, sellada y de muy baja actividad, que se usa para verificar el funcionamiento del equipo y para su calibración.

Cuenta con varias escalas que se pueden variar con una perilla, y dependiendo de la posición de ésta se efectuará la lectura en la porción correspondiente del indicador (0 a 50 o 0 a 150). Hay dos escalas de 150: una identificada con la letra R (rápida) y otra con la L (lenta). Esta última es la que se empleará para las mediciones de campo.

Las lecturas se harán en una escala que garantice que la aguja no se encuentre hacia los extremos del indicador. Si es el caso, es preferible cambiar a una escala que permita una mejor lectura.

El encendido y el apagado del equipo se efectúan con la misma perilla de escalas; con el fin de economizar pilas, el equipo deberá estar en la posición de apagado (Arret) siempre que no se estén haciendo mediciones.

El equipo se puede usar con el detector fijado al compartimiento de las pilas o separado de éste, accionando los seguros correspondientes.

Chequeo y calibración del equipo

El chequeo y la calibración se pueden realizar en un lugar diferente del de muestreo, como por ejemplo el sitio de parqueo de vehículos, para no tener que transportar el maletín ni la fuente de calibración.

Al encender el equipo y colocarlo en la posición de prueba de pilas (control), la aguja se situará dentro de la región marcada en azul en el indicador, cuando las pilas tienen la carga suficiente; si la aguja está por debajo de esta zona, se procederá a cambiar pilas y a verificar su estado.

Efectuar una lectura de fondo, colocando el equipo en forma horizontal hacia el aire, sobre la estructura de un vehículo, o sosteniéndolo con firmeza y unido al compartimiento de pilas, muy seguramente en la escala 150 L, y llenar los datos correspondientes en el formato de Captura de información en campo para muestreo de sedimentos de planicie de inundación (p. 62).

Poner la fuente de calibración, con los números de serie hacia afuera, en el extremo contrario al indicador, y después hacer la lectura y anotarla.

Las lecturas no son estables pero se mantienen alrededor de un mismo valor, por lo que se recomienda efectuar mentalmente el promedio.

Mediciones en sitio de muestreo

Para poder efectuar comparaciones entre los sitios de muestreo, se hace necesario mantener siempre la misma geometría; para esto, se debe:

- Separar el detector del compartimiento de las pilas.
- Encender el equipo y efectuar una medición de fondo, poniendo el detector en forma horizontal hacia el aire.
- Colocar el detector, en forma horizontal, en contacto con el sedimento y efectuar la lectura, en el mismo perfil donde se tomó la muestra superficial.
- Realizar un recorrido de techo a base del perfil con el detector y, si hay cambios en las lecturas, anotarlos en la correspondiente capa del perfil (p. 63, descripción del perfil).
- Anotar las lecturas de fondo del equipo y del sitio correspondiente a la muestra superficial en el formato de captura de información en campo para muestreo de sedimentos de planicie de inundación (p. 61).
- Apagar el equipo y guardarlo en su correspondiente estuche.

Formato de captura de información en campo para muestreo de sedimentos de planicie de inundación

Muestreo de Ultra Baja Densidad (UBD) Formulario de captura de datos de campo

1/4

Sedimentos de llanura de inundación - Floodplain y Overbank			
1. Información general			
<i>Tipo muestras tomadas</i>			
Fecha (d/m/a)	Sedimento de llanura de inundación	Escala de trabajo	
N.º plancha Igac	Superficial ☐	1:100000 ☐	
N.º identificación muestra	Profundo ☐	1:500000 ☐	
N.º Celda GTN (interno proyecto)	Para datación ☐	1:1500000 ☐	
	Duplicado	Responsable	
	Cuenca ☐	Institución/Empresa	
	Sitio muestreo ☐	Persona	
2. Localización del punto de muestreo			
Departamento	Cuenca principal	N.º Rollo	
Municipio	Cuenca muestreada	N.º Foto	
Vereda	Margen muestreada Izq. ☐		
	Der. ☐		
Coordenadas geográficas:	Coordenadas planas:	Coordenadas planas corregidas:	
Latitud (Grad-Min-Seg)	Norte	Norte	
Longitud (Grad-Min-Seg)	Este	Este	
Método de localización del punto de muestreo:	Altitud (m)	Origen coord. planas	
Medida con:	Medida con:		
GPS ☐	GPS ☐	Bogotá ☐	
Plancha ☐	Altimetro ☐	Este centro ☐	
Otros ☐	Plancha ☐	Este Este ☐	
		Oeste ☐	
3. Descripción del punto de muestreo			
3.1. Clima de la cuenca:	3.2. Paisaje:	3.3. Usos del suelo:	
Cálido árido ☐	Altiplanicie, Altillanura ☐	Asentamientos e infraestructura ☐	
Cálido semiárido ☐	Lomerío ☐	Agricultura ☐	
Cálido húmedo ☐	Montana ☐	Ganadería ☐	
Cálido pluvial ☐	Peniplanicie, Penillanura ☐	Forestal ☐	
Medio pluvial ☐	Piedemonte ☐	Agroforestería ☐	
Frio seco ☐	Planicie ☐	Conservación ☐	
Frio húmedo ☐	Llanura ☐	Sin uso agropecuario ☐	
Frio pluvial ☐	Valle ☐	Reserva hídrica ☐	
Muy frio seco ☐		Industria ☐	
Muy frio húmedo ☐	3.4. Fuentes de contaminación:	Otros ¿Cuáles?	
Muy frio pluvial ☐	Desconocida ☐		
Extrem/frio, húmedo y muy húmedo ☐	Agricultura ☐	3.5. Vegetación	
Extrem/frio, pluvial ☐	Industria ☐	Primaria ☐	
Subnival, muy húmedo ☐	Aguas negras/domésticas ☐	Secundaria ☐	
	Transporte ☐	Pastos y rastrojos ☐	
	Ganadería ☐		
	Minería ☐	3.10. Pendiente del lecho	
3.6. Profundidad del río (m):	Otra	<5 ☐	
3.7. Ancho del río (m):		5-20 ☐	
3.8. Tamaño de la cuenca (Km²)	3.9. Flujo/nivel	20-40 ☐	
3.12. Estado del tiempo (durante el muestreo)	Normal ☐	>40 ☐	
Seco ☐	Crecido ☐		
Lluvioso ☐	Intermitente ☐	3.11. Velocidad del agua	
3.13. Afloramientos rocosos en el sitio de muestreo	3.14. Litología predominante en la cuenca	Rápida ☐	
No hay ☐	Ígneas ☐	Moderada ☐	
Sí hay ☐	Magmática o intrusiva ☐	Lenta ☐	
¿Cuáles?	Efusiva ☐	Estacionaria ☐	
.....	Sedimentarias ☐	3.15. Presencia de mineralizaciones	
.....	Metamórficas ☐	Minas ☐	
		Manifestaciones ☐	
		Otra ☐	
		¿Cuál?	
Observaciones			

Muestreo Geoquímico de Ultra Baja Densidad (UBD)
Formulario de captura de datos de campo

2/4

Sedimentos de Llanura de inundación - Muestreo de UBD			
4. Sitio de muestreo			
4.1. Distancia al río (m)	4.4. Sitio		
4.2. Altura sobre la superficie del río (m)	Angosto ☐		
4.3. Profundidad observada de la tabla de agua (m)	Abierto ☐		
	Influencia coluvión ☐		
5. Descripción del perfil - Hoja anexa (3/4)			
6. Muestra superficial - Complemento descripción perfil			
6.1. Intervalo de perfil muestreado (cm)			
6.2. Composición %:	6.3. Forma:	6.4. Tamaño de partícula	6.5. Humedad
Cuarzo ☐	Angulosa ☐	Arcilla ☐	Muy húmedo ☐
Feldespatos ☐	Subangular ☐	Limo ☐	Húmedo ☐
Fragmentos líticos ☐	Subredondeados ☐	Arena fina ☐	Poco húmedo ☐
Otro	Redondeado ☐	Arena media ☐	Seco ☐
	Bien redondeado ☐	Arena gruesa ☐	
7. Muestra profunda - Complemento descripción perfil			
7.1. Intervalo de perfil muestreado (cm)			
7.2. Composición %:	7.3. Forma:	7.4. Tamaño de partícula	7.5. Humedad
Cuarzo ☐	Angulosa ☐	Arcilla ☐	Muy húmedo ☐
Feldespatos ☐	Subangular ☐	Limo ☐	Húmedo ☐
Fragmentos líticos ☐	Subredondeados ☐	Arena fina ☐	Poco húmedo ☐
Otro	Redondeado ☐	Arena media ☐	Seco ☐
	Bien redondeado ☐	Arena gruesa ☐	
8. Medición de Radiación Gamma			
8.1. N.º de serie del detector	8.2. N.º de serie de la fuente de calibración		
8.3. Lectura de fondo (c/s)	8.4. Lectura de la fuente de calibración (c/s)		
8.5. Lectura en la capa con mayor radiación (c/s)			
9. Observaciones:			

Muestreo Geoquímico de Ultra Baja Densidad (UBD)
Formulario de captura de datos de campo

3/4

5. Sedimentos de Llanura de inundación - Muestreo de UBD - Descripción perfil

5.1. N.º Identificación Muestra 5.2. Fecha (d/m/a):

5.3. N.º Plancha 5.4. Autor: Esc. Aprox. 1:10

5.5. Cuenca Muestreada: _____ 5.6. Profundidad Tabla de Agua (m) _____

[illegible]

Muestreo Geoquímico de Ultra Baja Densidad (UBD)
Formulario de captura de datos de campo

4/4

Sedimentos de Llanura de inundación - Muestreo de UBD**5. Descripción perfil**

Parámetros de descripción del perfil

- 1 **Profundidad (cm):** Se registra de 0 hasta la profundidad máxima del perfil.
- 2 **Espesor (cm):** Corresponde a cada capa identificada y descrita.
- 3 **N.º de capa:** De 1 hasta el número de capas que constituyen el perfil, de techo a base.
- 4 **Litología:** Corresponde al símbolo para la litología de cada capa identificada.
- 5 **Estructuras:** Disposición interna de los componentes de una capa.
- 6 **Tamaño de grano:** Se refiere a los tamaños de grano prevaletientes en la capa.
- 7 **Contacto:** Se refiere al tipo de límite presente entre capa y capa. Puede ser: neto, plano, neto ondulado, gradual, erosivo, discordante angular, etc.
- 8 **Restos orgánicos:** Restos vegetales o animales, antiguos o recientes, tales como: huellas animales (cavernas, talicinoides o túbulos), coprolitos, turbas, restos vegetales (raíces, maderas, semillas).
- 9 **Color:** Se recomienda utilizar la Tabla de Color de Munsell.
- 10 **Toma de muestra:** Se indica el punto de la toma de muestra superficial y profunda, así como la muestra para C14 (DAT).
- 11 **Radioactividad (c/s):** Realizar un recorrido de techo a base del perfil con el detector y anotar la lectura mayor en la capa correspondiente y si hay cambios apreciables anotar las lecturas en la correspondiente capa del perfil.
- 12 **Observaciones:** Se refiere a aquellos aspectos que sean posibles ampliar, como datos de textura; estructuras; litología; presencia de minerales (pirita, etc.); localización de fotos sobre el perfil o cualquier otro dato que se considere necesario.

MUESTREO DE BAJA, MEDIA Y ALTA DENSIDAD

Objetivo del manual

Este manual de campo tiene como objetivo principal servir como guía para la selección de los sitios de muestreo, toma y preparación de muestras de suelos, aguas y sedimentos finos, activos de corriente en muestreos de Baja, Media y Alta Densidad (BMAD), de acuerdo a las normas y metodologías internacionales recomendadas por el Programa Internacional de Correlación Geológica (IGCP) proyecto 259/360 y por el Foregs (1998) en su publicación *Geochemical Mapping Field Manual*, adaptadas a las condiciones y medios de muestreo disponibles en nuestro país.

Selección de sitios de muestreo

Como etapa fundamental para planear y ejecutar el programa de muestreo debe desarrollarse una etapa de recopilación, revisión y evaluación de información existente sobre la zona de estudio

Para planear las campañas de muestreo, se debe recopilar, revisar y evaluar la información geográfica, cartográfica, hidrográfica, geomorfológica, y geológica que se encuentre disponible sobre la zona de trabajo. Esta actividad incluye la obtención de material cartográfico análogo y digital (mapas) y documental (publicaciones e informes).

Con base en la información evaluada de la zona de trabajo, se analizan los aspectos determinantes para el adelanto del muestreo (hidrografía, geomorfología, geología, clima, etc.); y teniendo en cuenta los aspectos descritos anteriormente se elabora plan de muestreo consolidado indicando cuencas, ubicación de puntos y muestras a coleccionar, definiendo grupos de trabajo, y fechas de inicio y terminación de las labores de campo.

Diseño de muestreo

De acuerdo con las recomendaciones dadas en el proyecto internacional, a las experiencias de los estudios realizados en otros países (Brasil,

China, Estados Unidos) y Europa, y con la heterogeneidad de los aspectos naturales que caracterizan nuestras regiones; se ha establecido el uso de un muestreo aleatorio, estratificado, balanceado donde se toma como unidad de muestreo las cuencas hidrográficas.

Existen varias alternativas de ubicación de la cuenca respecto a la celda como se muestra en la figura 1. El tamaño de las subceldas de muestreo varía según la escala.

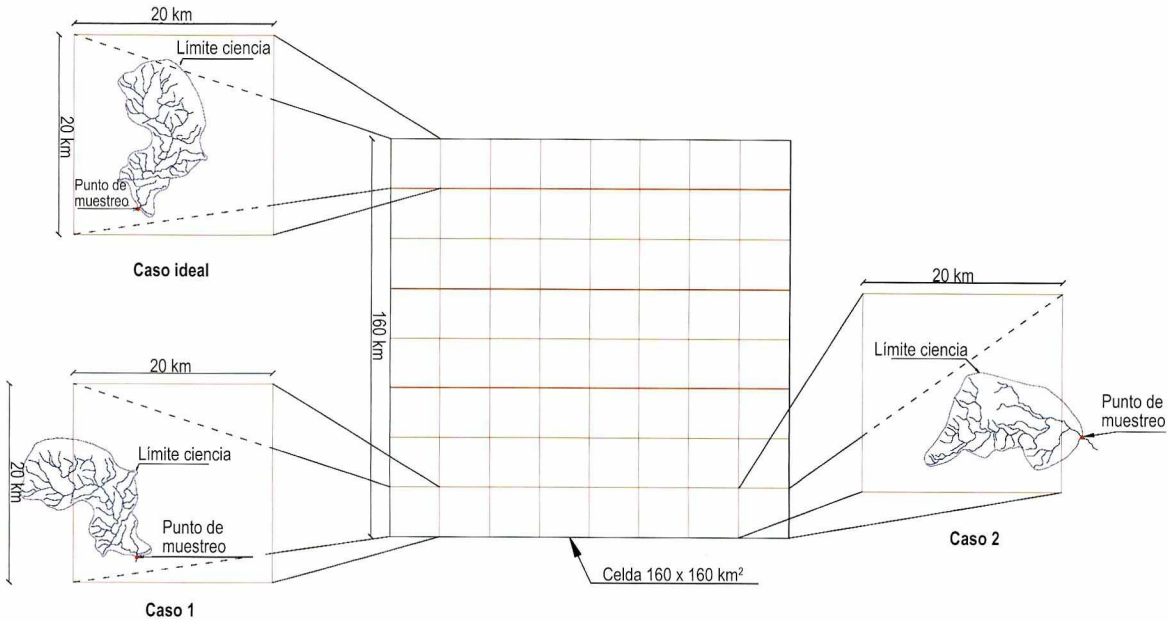
Para adquirir información geoquímica regional utilizando muestreos de Baja, Media y Alta Densidad (BMAD) se han definido como unidades básicas de muestreo a cuencas de drenaje cuya área de captación sean menores a 100 km², en las cuáles se recolectan sedimentos finos activos de corriente, suelos residuales, y agua corriente. Para garantizar un cubrimiento espacial homogéneo y permitir el manejo de datos se diseña una red de muestreo uniforme de acuerdo con la extensión de terreno y los objetivos de cubrimiento desde celdas de 20 x 20 km, 5 x 5 km, 3 x 3 km, 2 x 2 km, 1 x 1 km, en cada una de las cuáles se colecta una muestra del o de los medio de interés.

En todos los casos se debe disponer de la base topográfica (planchas del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Igac) que cubra la zona de estudio a escala 1:25.000 o mayor, y sobre ésta se resalta la red hidrográfica principal y secundaria, y se delimitan las cuencas principales, se señalan vías y poblaciones principales.

Para cubrimiento cartográfico por planchas (1:25.000 y 1:100.000) se divide la correspondiente plancha escala 1:25.000 que conforma cada plancha 1:100.000 en subceldas de 20 x 20 km, 5 x 5 km, 3 x 3 km, 2 x 2 km, 1 x 1 km según la densidad deseada, y dentro de cada una de ellas se ubican las cuencas para realizar el muestreo. En zonas de interés especial de acuerdo con rasgos estructurales, es posible aumentar la densidad de muestreo o en zonas en donde no existan drenajes permanentes es posible disminuir la densidad de muestreo.

Para la ejecución del trabajo de campo, se procede a: ubicar en las planchas a escala 1:25 000 que conforman las planchas 1:100.000 indicadas, las cuencas preseleccionadas, definir su área de captación, localizar las unidades geológicas y geomorfológicas (información disponible), y ubicar el sitio donde se llevará a cabo el muestreo.

En algunas cuencas de drenaje seleccionadas aleatoriamente (10% del número de cuencas muestreadas), se toman duplicados en el mismo sitio de muestreo las cuáles corresponden a duplicado de muestra.



Casos para la elección del sitio de muestreo
en celdas de 160 x 160 km

Figura 1. Selección de sitios de muestreo (modificado de Darnley et al. 1995).

En caso de que por condiciones hidrográficas, geomorfológicas, o similares, o por razones de fuerza mayor, no se pueda tomar algunas de las muestras en el sitio preseleccionado, se tomará la respectiva muestra en otro sitio alterno, ubicado en la misma subcelda de interés.

Los sitios de muestreo, deben localizarse, en todos los casos, en la parte más baja de la cuenca, hacia el ápice de la misma y antes de su desembocadura en el río principal de orden mayor. Para determinar la distancia requerida, antes de la desembocadura, debe verificarse que el sitio de muestreo escogido, corresponda a la llanura de inundación del afluente y no a la llanura del río principal, lo cual puede lograrse avanzando desde algunos cientos de metros, hasta uno a varios kilómetros (2 o 3) aguas arriba de la desembocadura, dependiendo del tamaño de la cuenca considerada.

Para la ubicación de los sitios de muestreo también se pueden utilizar, cuando sea necesario y estén disponibles, fotografías aéreas e imágenes satelitales convenientemente georreferenciadas, en escalas adecuadas para el trabajo.

Planchas 1:500.000. Baja densidad de muestreo: un sitio por cada subcelda de 20 x 20 km

Las celdas de 160 x 160 km se dividen en subceldas de 20 x 20 km. En cada subcelda, documentada con mapas topográficos (1:25.000 y 1:50.000), se seleccionan las cuencas de drenajes menores a 100 km² y en una de ellas, seleccionada aleatoriamente, se realiza el muestreo correspondiente.

Nota: Para el caso de muestreo basado en planchas a escala 1:100.000, pero con esta misma densidad de muestreo, las planchas de 40 x 60 km, se dividen en seis subceldas de 20 x 20 km y se escoge un sitio de muestreo en cada una, correspondiente a una cuenca menor de 200 km², con drenajes de segundo, tercero o cuarto orden.

Planchas 1:100.000. Media densidad de muestreo: Un sitio por cada subcelda de 5 x 5 km

Las planchas a escala 1:100.000 de 60 x 40 km se subdividen en celdas de 5 x 5 km (área de 25 km²) para un total de 96 celdas de muestreo por plancha. Dentro de cada una de éstas se seleccionarán cuencas de drenajes de segundo a cuarto orden, cuyo ápice esté dentro de la celda y preferiblemente de áreas menores de 25 km².

El procedimiento para desarrollar la actividad de selección de sitios de muestreo es el siguiente:

- Se iluminan las planchas topográficas a escala 1:50.000 o 1:25.000, que componen la plancha 1:100.000 correspondiente, resaltando los drenajes, vías y poblaciones.
- Se traza una grilla de 5 x 5 km sobre las mismas planchas 1:25.000, empezando en el extremo N-W.
- Se seleccionan las cuencas que mejor representen la información geológica dentro de cada celda, cuyos drenajes sean de segundo a cuarto orden y con áreas menores de 25 km².
- Se ubica el sitio de muestreo en la parte más baja de la cuenca hacia el ápice de ésta y antes de la desembocadura del drenaje en otro de orden mayor.
- Se selecciona al menos una cuenca alterna por celda y sitios de muestreo alternos en caso de presentarse dificultades logísticas para el acceso.

Para la ubicación de los sitios de muestreo también se pueden utilizar, cuando sea necesario, fotografías aéreas y mapa-imágenes georreferenciados a escalas adecuadas (1:25.000).

Planchas 1:25.000. Media y Alta Densidad de muestreo: un sitio por cada subcelda de 3 x 3 km o de 2 x 2 km.

Las planchas a escala 1:25.000 de 15 x 10 km se subdividen en celdas de 3 x 3 km o de 2 x 2 km (área de 9 km² o de 4 km²) para un total de 18 o de 40 celdas de muestreo por plancha. Dentro de cada una de éstas celdas se seleccionarán cuencas de drenajes de segundo a cuarto orden, cuyo ápice esté dentro de la celda y preferiblemente de áreas menores de 9 km².

El procedimiento para desarrollar la actividad de selección de sitios de muestreo es el siguiente:

- Se iluminan las planchas topográficas a escala 1:25.000, resaltando los drenajes, vías y poblaciones.

- Sobre las mismas planchas 1:25.000, se traza una grilla de 3 x 3 km o de 2 x 2 km, según el caso, empezando en el extremo N-W
- Se seleccionan las cuencas que mejor representen la información geológica dentro de cada celda, cuyos drenajes sean de segundo a cuarto orden y con áreas menores de 9 km².
- Se ubica el sitio de muestreo en la parte mas baja de la cuenca hacia el ápice de la misma y antes de la desembocadura del drenaje en otro de orden mayor.
- Se selecciona al menos una cuenca alterna por celda y sitios de muestreo alternos en caso de presentarse dificultades logísticas para el acceso.

Para la ubicación de los sitios de muestreo también se pueden utilizar cuando sea necesario fotografías aéreas y mapa-imágenes georreferenciados a escalas adecuadas (1:25.000).

Coordenadas de los sitios de muestreo

Los sitios de muestreo deben registrarse cuidadosamente sobre mapas topográficos a escala 1:100.000, 1:50.000 o 1:25.000, y después se digitalizan en la oficina. Se anotan las respectivas coordenadas (mapa o GPS) en los formatos de captura de datos de campo que se encuentran en la p. 100.

Dado que los sitios de muestreo se pueden emplear para monitoreos posteriores, se recomienda el uso de instrumentos GPS que son más precisos (+/- 5m). Si se utiliza un instrumento GPS, se deberán anotar el modelo, número de serie, precisión, etc.

Identificadores (ID)

Con el ánimo de estandarizar la identificación de las muestras, y para evitar confusiones, se han utilizado identificadores simples que se asocian al tipo de muestra recolectada.

Identificadores para muestreo global

Para ilustrar los identificadores se presenta un ejemplo del sistema de numeración utilizado para codificar las muestras a nivel global: N43E09Sed4,

donde:

N43E09 = identificación de la celda de la GTN.

Sed = símbolo del material (sedimento).

4 = número de la cuenca (drenaje).

La muestra duplicado se identifica como N43E09Sed4D, donde D es el identificador del duplicado.

Los identificadores para blancos de muestreo (o muestras cero) de agua filtrada serán celda de la GTN/ W/número de la cuenca de captación/0 (cero), ejemplo N43E09Agu40.

Identificadores para muestreo nacional

Cada etiqueta de marcado de las muestras contiene un código de letras y números que indican la plancha 1:25.000, que se está muestreando, el tipo de muestra colectada, la secuencia y si se trata de duplicados.

Ejemplo: 97IIA-SA-XXX (D),

donde:

97IIA = Números que indican la identificación de la plancha 1:25.000 que se está muestreando.

SA = Indica que el tipo de muestra es sedimento activo.

XXX = número consecutivo de colecta de la muestra (001, 002, etc.).

D = Indica si es una muestra duplicado.

Nota: La numeración para cada sitio de muestreo es definida previamente a la recolección de la muestra en campo.

Si la muestra corresponde a un blanco de muestreo (muestra cero), el identificador terminará en 0 (cero).

En la tabla siguiente se da la lista de símbolos de acuerdo con el tipo de muestra:

Tipo de muestra	Identificación
Suelo, horizonte superior (0-25 cm)	SUA
Suelo, horizonte profundo (C), capa de 25 cm ubicada a una profundidad entre 50 y 200 cm	SUC
Sedimento activo de corriente	SA
Agua sin filtrar y sin acidular	AG
Agua filtrada y acidulada	AGF
Humus	Hu
Blanco	0
Duplicado	D

Registros fotográficos

Se deben tomar fotografías en color en todos los sitios de muestreo (agua y sedimento de corriente y suelo residual), y se deben registrar en las fichas de observaciones de campo. Después de procesarlas, hay que marcar cada fotografía (copia en papel) cuidadosamente en el reverso con un marcador de tinta indeleble de punta fina y archivarlas como parte de la documentación de cada muestra.

Las fotografías forman un grupo de referencia único y muy importante de todos los sitios de muestreo, por lo que es clave asegurar un excelente resultado. Esto significa usar una buena cámara, garantizar nitidez en cada toma, marcar claramente cada foto y archivarlas convenientemente (fotos en papel y digitales).

Las fotografías de los sitios de muestreo de aguas y sedimentos de corriente pueden tomarse antes o después de la toma de la muestra.

En el caso de los apiques para suelo residual, así como la capa orgánica en el caso de los humus, se deberán fotografiar antes de la toma de las muestras. Cuando se fotografíen los apiques de muestreo, debe asegurarse que se registran todas sus características.

Muestreo

Los grandes avances alcanzados en la ejecución de métodos analíticos, con referencia especialmente a sensibilidad, precisión y exactitud, han conducido a considerar que la principal fuente de error en términos generales se tiene en la etapa de muestreo. Por lo anterior se recomienda

enfáticamente seguir paso a paso los procedimientos de muestreo, para disminuir en lo posible problemas de contaminación durante la recolección y para garantizar la representatividad de las muestras.

La documentación de cada muestra incluye la recolección de datos en los que se describen las condiciones generales del entorno en el momento del muestreo (litología, clima, paisaje, usos del suelo, vegetación, actividades antropogénicas), propiedades físico-químicas observadas y medidas para cada muestra en campo (color, olor, humedad, pH, tamaño de partícula, textura, etc.), y fotografías del entorno y del sitio de muestreo.

A continuación se presentan las consideraciones generales sobre el tipo de muestras, los procedimientos y las precauciones que se deben tomar para el muestreo geoquímico de Baja, Media y Alta Densidad (BMAD).

Para cada tipo de muestra, agua, sedimento o suelo, escogida como material de muestreo en las respectivas cuencas seleccionadas, se elabora una ficha técnica de muestreo en los formatos que se han desarrollado para tal fin (p. 100).

Agua de corriente

Los sistemas de agua natural son soluciones complejas de electrolitos en contacto con una amplia variedad de sólidos orgánicos e inorgánicos. Una vez en contacto con el sistema acuoso, los componentes inorgánicos sufren complejas interacciones tanto biológicas como abióticas, las cuales van a incidir en la forma de presentación de los elementos químicos en dicho sistema. Las especies solubles se derivan, por tanto, no sólo de la simple solubilidad de los minerales sino de la asociación de los elementos químicos con diferentes tipos de complejos, tanto orgánicos como inorgánicos. Los parámetros que controlan la solubilidad de estos compuestos son principalmente el pH, el potencial Redox, el tipo y concentración de los acomplejantes, al igual que el estado de oxidación del elemento.

Entre las acciones relevantes del agua hay que considerar por su importancia, la meteorización de rocas y minerales, así como las reacciones de hidrólisis. Al mismo tiempo, el agua contiene en solución una serie de sustancias que van a reaccionar con las rocas y los minerales, como oxígeno libre, bióxido de carbono, ácidos orgánicos y ácidos de nitrógeno (Levinson, 1973 & Krauskopf, 1979).

El agua natural no es en general una solución homogénea, sino que tiene partículas (material en suspensión) que contienen elementos, por lo que resulta esencial manejar apropiadamente la muestra y obtener la concentración de las entidades químicas presentes, tanto en la fase en solución como en la fase en suspensión. Hay que tomar en cuenta que los procesos químicos, en aguas naturales, están íntimamente relacionados con períodos estacionales, los cuales pueden ser la causa de grandes variaciones de su composición con el tiempo (Franson, 1980 & ISO, 1995).

Las muestras de agua de corriente se colectan de las cuencas de drenaje pequeñas ($<100 \text{ km}^2$), de segundo, tercer y cuarto orden, en el mismo sitio en que se colectan los sedimentos activos de corriente (figura 2).



FIGURA 2. Recolección de muestras de agua-filtración de las muestras.

Sedimentos activos de corriente

Los sedimentos son depósitos de origen detrítico, químico y orgánico, resultado de la destrucción mecánica o de la alteración de las rocas, de las precipitaciones de elementos disueltos en el agua, de la acumulación de materia orgánica y de los residuos producidos por las actividades humanas, los cuales se pueden transportar en suspensión y en partes disueltas por las aguas, y depositar finalmente en las cuencas de sedimentación ambiental, continental o marina.

El sedimento tiene una composición similar o parecida a la de la roca de la cual proviene, bien sea por erosión o meteorización, y es influenciado por el régimen climático, tiempo, formas de suelo y condiciones hidrológicas (Golterman, Sly & Thomas, 1983). El sedimento comprende tanto el material en suspensión como el depositado, y se

compone de material que ha sido transportado al río (alóctono) o que se ha formado en el mismo sitio del río (autóctono). Los sedimentos activos de corriente representan la carga de material de grano fino a medio (limo-arcillo-arenoso) del lecho de la corriente, la cual es transportada por la corriente de agua.

Los estudios sobre la distribución de los elementos traza con respecto a la granulometría de los sedimentos han demostrado que varios elementos –entre los que están Mo, Cu, Zn, Mn y Fe– se hallan concentrados en las fracciones más finas del sedimento.

En el muestreo para la elaboración del mapa geoquímico, se consideran tres tipos de sedimentos:

Sedimentos activos de corriente

Representan la carga de material del lecho de la corriente de grano fino a medio (limo-arcillo-arenoso) transportado por la corriente de agua. Las muestras se toman en cuencas de drenajes pequeñas, de segundo o tercer orden, con áreas menores de 200 km², en un punto arriba de la confluencia con el canal principal (figura 3), (Salminen et ál., 1998). El sedimento activo de corriente es el medio de muestreo más recomendado para estudios geoquímicos, especialmente en exploración, y uno de los más utilizados en estudios geoquímicos en diferentes países del mundo (Canadá, Estados Unidos, antigua Unión Soviética). Los geoquímicos dedicados a la exploración de minerales han adoptado los sedimentos de corriente como el medio de muestreo preferido en estudios regionales. El muestreo de sedimentos permite, además, comparar nuevos resultados con los datos de estudios existentes, tomados en proyectos de exploración (Darnley et ál., 1995; Levinson, 1973 & Golterman, Sly & Thomas, 1983).

Sedimentos de llanuras de inundación (Floodplain)

Representan el aluvión de toda la cuenca de drenaje, de cuencas de captación con áreas entre 1000 y 6000 km². La muestra se toma en la llanura aluvial, en el punto más bajo, cerca de la desembocadura de la cuenca.

Sedimentos de sobrecarga (Overbank)

Representan los aluviones de las cuencas de drenaje pequeñas. La muestra se toma de las llanuras aluviales, cerca del punto de confluencia

de las corrientes pequeñas de segundo orden, menores de 200 km², con el río principal de tercer orden. Los sedimentos de sobrebanca son producidos cuando el caudal del agua supera la capacidad del canal del río y parte de la carga suspendida es depositada sobre la terraza o sobre la banca del río.

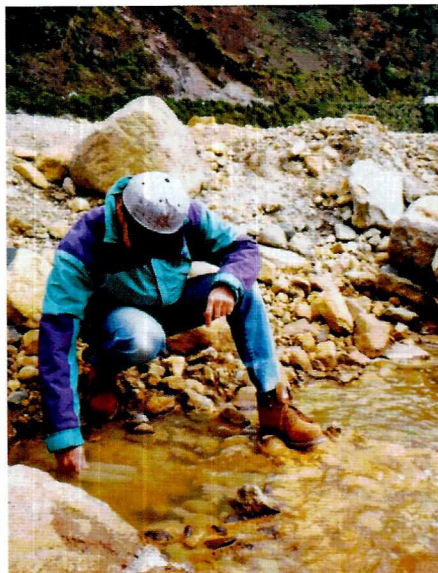


FIGURA 3. Recolección de muestras de sedimentos.

Suelos

El suelo puede definirse como un sistema de componentes múltiples constituido por la fase sólida líquida y gaseosa. Los componentes inorgánicos pueden constituir más del 90% en peso en los suelos de las regiones áridas o más del 50% en suelos de turba. Los constituyentes inorgánicos provienen de la caracterización de las rocas y minerales o de las reacciones siguientes entre los productos de meteorización, y como resultado de esto, se forman los coloides inorgánicos del suelo. Desde el punto de vista geoquímico, los suelos son parte del ciclo endógeno o menor de la materia en la parte superior de la litosfera. En este ciclo menor, que es un verdadero agente separador y concentrador de diversos elementos químicos, se puede seguir el curso de la meteorización de las rocas, su transporte, depósito, diagénesis y metamorfosis.

La consideración de los procesos de evolución de los suelos está siempre subyacente en el estudio de los constituyentes y de las propiedades del suelo. Algunos de los principales constituyentes del suelo son los minerales. El mejor método para su estudio consiste en comparar la composición mineralógica y geoquímica del horizonte superficial, con los del material de origen o roca madre.

En las zonas de clima cálido, subtropical, tropical y ecuatorial predomina la alteración geoquímica; la neoformación de arcillas (si la cantidad de sílice presente es suficiente) y la fuerte cristalización de los óxidos liberados caracterizan estas zonas (figura 4).



Inicio de apique



Levantando la
capa vegetal



Apiques
terminados

FIGURA 4. Recolección de muestras de suelos.

Ficha técnica para el muestreo de agua de corriente

Alcance y campo de aplicación

El presente procedimiento se aplica al muestreo de aguas en muestreo geoquímico sistemático de Baja, Media y Alta Densidad (BMAD).

El muestreo empleado corresponde a un diseño aleatorio, balanceado y estratificado, con patrón bidimensional. De acuerdo con la densidad de muestreo, se escoge el tamaño de la subcelda a muestrear.

Dentro de cada celda y subceldas, se toma como unidad fundamental de muestreo una cuenca de drenaje de segundo, tercero o cuarto orden, según el tamaño de la subcelda, para el muestreo de sedimentos, aguas y suelos.

En subceldas escogidas aleatoriamente se toman muestras adicionales como duplicados de muestreo (3% del total de muestras colectadas en cada celda de 160 x 160 km o 10% del total de muestras tomadas en el caso de planchas 1:100.000 y 1:25.000)

Principios básicos y definiciones

Importancia del muestreo de aguas

El agua corriente refleja la interrelación entre la geosfera, la hidrosfera y los posibles contaminantes.

Para diferentes fines, es importante conocer de manera sistemática y normalizada los valores geoquímicos de elementos y especies químicas en aguas.

Existen algunos cuidados especiales que deben tenerse en cuenta en un muestreo de esta naturaleza, encaminados a evitar contaminación y alteración de las formas químicas de las especies que hay que analizar.

El objetivo es que las muestras tomadas y el análisis efectuado en el laboratorio, de elementos y especies químicas, sean el fiel reflejo de su composición en estado natural.

Materiales, equipos y reactivos

Reactivos

- Agua destilada y desmineralizada.
- Ácido nítrico al 60% (v/v). Mezclar 60 ml de ácido nítrico concentrado, densidad 1,40 kg/l (HNO_3 RA, Merck suprapuro (R) 100441 o

equivalente), con 40 ml de agua destilada y desmineralizada. Preparar proporcionalmente la cantidad necesaria.

- Soluciones reguladoras (*buffer*) para calibración del medidor de pH.
- Soluciones reguladoras para calibración del conductímetro.

Materiales y equipos

- Medidor de pH (pH-metro).
- Medidor de conductividad (EC-metro).
- Frascos plásticos de polietileno, blancos, nuevos, de 500 ml, prelavados con HNO_3 al 5% y agua destilada y desmineralizada (para muestra no filtrada-análisis de iones mayores).
- Frascos plásticos de polietileno, blancos, nuevos, de 200 o 250 ml, prelavados con HNO_3 al 5% y agua destilada y desmineralizada (para muestras de agua filtrada y acidificada).
- Equipo de campo para filtración con membrana, 4,5 cm de diámetro.
- Membranas de filtración de 0,45 μm de tamaño de poro (libres de pirógenos), 4,5 cm de diámetro.
- Dos vasos de precipitados de polietileno (200 ml) para medir el pH y la conductividad eléctrica (EC) de las muestras de agua.
- Frascos lavadores.
- Guantes de caucho desechables (guantes libres de polvos o similares).
- Cajas térmicas (neveras de icopor o de plástico) para preservar muestras de agua.
- Jeringas desechables (ejemplo, Becton & Dickenson de plastipak) o bomba de vacío para filtrar las muestras.
- Dispensadores (goteros) hechos de FEP para adicionar HNO_3 .
- Marcadores de tinta indeleble.
- Cinta de enmascarar.
- Cajas plásticas para traslado de muestras.
- Cámara fotográfica.
- Gel refrigerante.

- Mapas (mapas topográficos, preferiblemente a escala 1:25 000 o 1:50 000).
- Elementos para trabajo geológico (brújula, GPS, martillo).
- Libreta para observaciones de campo.

Identificadores de las muestras

Cada etiqueta de marcado de las muestras contiene un código de letras y números que indican la plancha 1:25.000, que se está muestreando, el tipo de muestra colectada, la secuencia y si se trata de duplicados.

Ejemplo 1: 97IIA-AGF-XXX,

donde:

97IIA = números que indican la identificación de la plancha 1:25.000 que se está muestreando.

AGF = indica que el tipo de muestra es agua filtrada y acidulada.

XXX = número consecutivo de colecta de la muestra (001, 002, etc.).

Ejemplo 2: 97IIA-AgusinF-XX,

donde:

97IIA = números que indican la identificación de la plancha 1:25.000 que se está muestreando.

AgusinF = indica que el tipo de muestra es agua sin filtrar y sin acidular.

XXX = número consecutivo de colecta de la muestra (001, 002, etc.).

Ejemplo 3: 97IIA-AGF-XXX (D),

donde:

97IIA = números que indican la identificación de la plancha 1:25.000 que se está muestreando.

AGF = indica que el tipo de muestra es agua filtrada y acidulada.

XXX = número consecutivo de colecta de la muestra (001, 002, etc.).

D = indica que es una muestra duplicado.

Nota: La numeración para cada sitio de muestreo es definida previamente a la recolección de la muestra en campo.

Procedimiento

Selección del sitio de muestreo

- Seleccionar en planchas o fotografías aéreas a escala 1:25.000, 1:50.000 o 1:100.000, según la distribución por celdas y subceldas, las cuencas de drenajes (ubicadas en cada subcelda) que cumplan los requisitos de tamaño y de orden de corriente.

El sitio de muestreo de aguas se ubica en la parte más baja de la cuenca y aguas arriba de la desembocadura del drenaje de interés, en otro de orden mayor.

- Marcar las botellas de 250 y 500 ml con el número de identificación respectivo, usando un marcador indeleble sobre la botella seca.
- Diligenciar el formato para captura de datos de campo y marcar la posición y el número de la muestra en el mapa topográfico respectivo. Tomar las coordenadas geográficas y anotarlas en el formato de captura de datos de campo.
- Lavar dos veces y después llenar dos vasos de precipitados de polietileno, con agua corriente. Se recomienda marcar previamente los vasos. Pues uno se usa para medir pH y otro para medir conductividad.
- Colocar los electrodos de los aparatos calibrados en los vasos con agua y medir el pH, la conductividad y la temperatura.
- Anotar el valor de pH (con una cifra decimal), la temperatura y el valor de conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$ o mS/m), en la hoja de observaciones de campo. Lavar los electrodos y los vasos de precipitados con agua destilada y desionizada y dejarlos en sus respectivos empaques. Los aparatos se deberán calibrar diariamente antes de tomar la primera medición.

Toma de la muestra sin filtrar (500 ml)

- Tomar la muestra de agua antes de la recolección de la muestra de sedimento, en un punto aguas abajo del correspondiente al primer punto del muestreo de sedimento de corriente.

- Lavar dos veces la botella previamente marcada, de 500 ml, con agua de la corriente, y luego sumergirla en el agua y llenarla de modo que no queden burbujas de aire en su interior.
- Llenar la botella tanto como sea posible y cerrarla herméticamente mientras aún está sumergida bajo el agua. La posición del operador debe ser en contra de la corriente. En corrientes de mayor caudal, se puede coleccionar la muestra con muestreador en el centro de la corriente, aproximadamente a 0,6 veces la profundidad, por encima del fondo de la corriente.

Toma de muestras filtradas (250 ml)

Con equipo de filtración

- Tomar 250 ml de agua de la corriente.
- Lavar el equipo de filtración con agua destilada y desmineralizada y colocar la membrana de celulosa.
- Filtrar los 250 ml utilizando equipo de vacío (bomba de vacío, jeringa, etc.). Descartar los primeros 10 ml de agua filtrada cada vez que se use una nueva membrana de filtro.
- Tomar la botella (marcada) de 250 ml para muestras acidificadas y lavarla dos veces con pequeñas porciones de muestra de agua filtrada.
- Llenar la botella hasta el cuello con agua filtrada.

Preservación y envío de las muestras de agua

Filtración

En lo posible, la operación de filtrado debe realizarse inmediatamente; de no ser así, puede hacerse unas pocas horas después de la toma de la muestra, siempre y cuando la muestra se mantenga refrigerada.

Acidulación

Lo más pronto posible, luego de la toma de la muestra, adicionar a las botellas de 250 ml que contienen las muestras filtradas 1 ml de HNO_3 al 60% (v/v), con un gotero o frasco dispensador (no permitir que la punta del gotero toque la muestra). Tapar la botella hermética y agitar para homogeneizar la solución. El pH final del agua debe ser aproxima-

damente de 2 (dos). Usar guantes de vinilo desechables limpios, porque el ácido es muy corrosivo. Colocar las botellas llenas en una unidad de enfriamiento (por ejemplo, caja térmica o refrigerador).

Enviar las muestras de agua al laboratorio, tan pronto como sea posible.

Control de calidad en el muestreo

El muestreo se debe realizar siguiendo los parámetros establecidos en el Manual de Campo del proyecto, de acuerdo con normas internacionales estandarizadas para tomar muestras representativas, y evitar todas las contaminaciones posibles en el muestreo y posterior manejo de las muestras hasta llevarlas al laboratorio para sus respectivos análisis (ISO, 1995).

Precauciones generales de muestreo

- Tomar primero las muestras de agua y después las de sedimentos para evitar perturbación del sistema.
- Evitar la toma de muestras después de una lluvia fuerte o torrencial.
- Evitar la presencia y uso de herramientas de materiales metálicos durante el muestreo, así como el uso de joyas por parte de los operadores, porque pueden alterar la fidelidad de la muestra.
- Usar guantes de caucho durante el muestreo.
- Apagar el motor del vehículo o evitar su influencia en el sitio de muestreo.
- Prohibirles a los operadores fumen durante el muestreo.

Control del muestreo

- Se debe tomar como mínimo un 3% de duplicados de muestreo, es decir, muestras tomadas en el mismo sitio.
- Igualmente, hay que tomar cerca de un 3% de duplicados de celda, esto es, muestras tomadas en una cuenca diferente, dentro de la misma subcelda.
- En cada muestreo, y cuando se abra una nueva caja de filtros como mínimo, se debe realizar un blanco de agua filtrada, siguiendo este procedimiento: filtrar agua destilada y desionizada en una botella de

250 ml, de la misma manera como se filtró la muestra de agua normal. Esta muestra es tratada (acidificada y manipulada) igual que las muestras de agua normales.

Fotografías

Tomar mínimo dos fotografías: la primera para mostrar la topografía general del sitio de muestreo y la segunda para mostrar la naturaleza del lecho de la corriente.

Ficha técnica para el muestreo de sedimentos activos de corriente

Alcance y campo de aplicación

- El presente protocolo aplica para muestreo de sedimentos activos, de acuerdo con los requerimientos del proyecto Compilación y Levantamiento de Información Geoquímica del Territorio.
- El muestreo empleado corresponde a un diseño aleatorio, balanceado, estratificado con patrón bidimensional.
- Dentro de cada celda y subceldas, se toma como unidad fundamental de muestreo una cuenca de drenaje de segundo, tercero o cuarto orden para el muestreo de sedimentos, aguas y suelos.

Principios básicos y definiciones

Importancia del muestreo de sedimentos

- La importancia de realizar un muestreo sistemático de sedimentos es ampliamente reconocida en geoquímica, porque refleja la composición geológica promedio de la cuenca en estudio (área de captación del drenaje).
- Los sedimentos activos de corriente están representados por la carga de material del lecho de la corriente, de grano fino a medio (limo-arcillo-arenoso, $<0,15$ mm), transportado por agua corriente.
- Los sedimentos activos de corriente reflejan el promedio de la composición geoquímica de la cuenca de drenaje y son colectados de cuencas pequeñas (<200 km²), de segundo y tercer orden, en un sitio apropiado, localizado arriba de su punto de confluencia con el canal principal.

Materiales y equipos

- Bolsas de polietileno gruesas con capacidad para 3 kg.
- Guantes de caucho largos (para trabajo pesado) o guantes desechables.
- Palas de plástico (libres de metales).
- Balde o batea de plástico o madera (material libre de metales).
- Cajas para empaque en plástico (material libre de metales). Se usan como recipientes para empacar las muestras.
- Marcadores de tinta indeleble (preferiblemente negros o azules).
- Etiquetas para identificación de muestras.
- Mapas (topográficos, preferiblemente a escalas <1:100.000 y 1:50.000).
- Cámara fotográfica.
- Elementos para trabajo geológico (martillo geológico, lupa, brújula, GPS, etc.).
- Libreta para observaciones de campo.
- Lapiceros de tinta y cinta de enmascarar para sellar las bolsas de muestreo.

Identificadores de las muestras (sedimentos)

Cada etiqueta de marcado de las muestras contiene un código de letras y números que indican la plancha 1:25.000, que se está muestreando, el tipo de muestra colectada, la secuencia y si se trata de duplicados.

Ejemplo: 97IIA-SA-XXX (D),

donde:

97IIA = números que indican la identificación de la plancha 1:25.000 que se está muestreando.

SA = indica que el tipo de muestra es sedimento fino activo de corriente.

XXX = número consecutivo de colecta de la muestra (001, 002, etc.).

D = indica si es una muestra duplicado.

Nota: La numeración para cada sitio de muestreo es definida previamente a la recolección de la muestra en campo.

Procedimiento

Selección del sitio de muestreo

- De acuerdo con la distribución por celdas y subceldas, se seleccionan en planchas o fotografías aéreas a escala 1:25.000 o 1:50.000, las cuencas de drenaje que cumplan los requisitos de tamaño y orden.
- El sitio de muestreo del sedimento, se ubica en la parte más baja de la cuenca y aguas arriba de la desembocadura del drenaje de interés en otro de orden mayor.
- Los sitios de muestreo deben ubicarse a considerable distancia aguas arriba del punto de confluencia de la corriente que se va a muestrear con la corriente de mayor orden, para no tomar sedimentos que provengan de la mezcla de material de los dos canales, mezcla que ocurre especialmente durante los períodos de inundación.
- No se deben hacer muestras compuestas de muestras tomadas de cauces (lechos) de diferente naturaleza.
- Se deben recolectar muestras compuestas a partir de cinco a diez submuestras del mismo drenaje, cubriendo una distancia de 250 a 500 m a lo largo del río.
- El muestreo de sedimento activo debe comenzarse en el punto de muestreo de agua y las demás submuestras deben tomarse aguas arriba de este punto. Tomar coordenadas geográficas del primer sitio de muestreo (usando GPS).
- Dadas las condiciones de logística existentes en amplias zonas de Colombia, se consideró conveniente utilizar el método de tamizado en seco.

Identificación de las muestras

- Colocar el identificador de la muestra en la bolsa plástica de muestreo de acuerdo con las recomendaciones y usando un marcador de tinta indeleble.

- Marcar el punto exacto de la primera y última submuestras en el mapa de campo por medio de pequeñas líneas perpendiculares al flujo de la corriente. Se recomienda marcar el número identificador de la muestra sobre el mapa, cerca del punto de localización del muestreo.
- Diligenciar los detalles descriptivos del sitio de muestreo y de la muestra, tomar las coordenadas geográficas y anotarlas en el formato de captura de datos.

Muestreo de sedimentos de corriente

- Recorrer el drenaje aguas arriba del sitio de colecta de la muestra de agua, seleccionar la porción del curso de la corriente (250-500 m) sobre la cual se va a colectar la muestra (cinco a diez puntos).
- Recolectar, con ayuda de la pala plástica, el material de granulometría más fina (o, de ser posible, tomar solamente la capa fina superficial de arcilla que cubre el depósito de sedimento (arena aluvial) presente en el centro del lecho de la corriente. Procurar que el material contenga la menor cantidad posible de materia orgánica y evitar la materia reducida (principalmente de color oscuro y de mal olor) que puede estar presente en mayores profundidades. Tener cuidado de no colectar material de playa.
- Tomar 2 kg de muestra de sedimento activo, resultado de mezclar cantidades iguales de las submuestras recogidas sobre una longitud de la corriente entre 250 y 500 m, de tal forma que una vez tamizado garantice la cantidad de material fino requerido para el análisis de laboratorio.
- Remover el material grueso de la muestra (guijarros) manualmente, a través de un tamiz de nailon de malla 5 mm.
- Transferir la muestra a la bolsa de muestreo (plástica) y sellarla con cinta de enmascarar. Colocar la bolsa de muestreo sellada dentro de otra bolsa de polietileno para evitar contaminación cruzada durante el transporte.
- Poner las muestras en una caja de plástico con el fin de transportarlas al laboratorio para su preparación.

Preparación de la muestra

- Preparar la muestra adecuadamente es garantía de un buen resultado analítico. Por esta razón, las precauciones que se tienen en cuenta para evitar la contaminación durante el muestreo se deben tomar también durante la etapa de preparación de las muestras.
- Desempacar, verificar la identificación y organizar las muestras en un área especial libre de toda contaminación.
- Secar las muestras a temperatura ambiente ($<40\text{ }^{\circ}\text{C}$). Colocar la muestra en la bolsa y voltearla si es necesario.
- Desintegrar la muestra, si se requiere, en mortero de madera o en recipiente plástico.
- Tamizar las muestras en un tamiz de nailon de $150\text{ }\mu\text{m}$, de acuerdo con las especificaciones ASTM 11-70 y correspondiente a una malla n.º 100 en la designación de Tyler.
- Preparar y homogeneizar en plástico, y mecánicamente, unos 100g de muestra, los cuales son distribuidos y enviados al Laboratorio de Geoquímica de Ingeominas y a laboratorios internacionales para sus respectivos análisis, y otra fracción para archivo de testigos.
- Guardar en el archivo de muestras la fracción que no es utilizada y la que no pasa la malla n.º 100.

Control de Calidad en el muestreo

Precauciones generales que se deben tener en cuenta durante el muestreo

- Es importante evitar, en todas las etapas de muestreo, la contaminación por metales.
- No usar joyas durante el muestreo.
- Utilizar equipos de muestreo de plástico (palas, picas, bateas), que no contengan metales o contruidos de madera natural o bruta (sin pintura).
- Emplear tamices de nailon, que no contengan metales y contruidos sobre estructuras de madera natural o de plástico (libre de metales).

- Usar recipientes para recolectar las muestras que estén hechos de materiales que no contengan metales (bolsas y recipientes plásticos nuevos).
- Evitar muestrear en presencia de vehículos encendidos o cuando se esté fumando.
- Usar equipos de acero inoxidable sin pintar, si no es posible el uso de equipo no metálico. Se debe evitar el uso de equipos de aluminio o de latón.
- Usar guantes de caucho durante todo el muestreo, por protección.
- Hacer el muestreo de pequeñas corrientes estacionales con mucho cuidado, ya que algunas de éstas no han tenido agua corriente por muchos años y su lecho puede estar cubierto por material de la banca erosionado. Dado que se ha de muestrear el sedimento activo, se debe retirar el material erosionado de la banca y que cubre el “antiguo” sedimento activo de corriente, antes de tomar la muestra en cada subpunto de muestreo.
- Limpiar completa y cuidadosamente el equipo de muestreo después de recolectar cada muestra.

Control del muestreo

- Tomar el 3% de las muestras como mínimo por duplicado en el mismo sitio de muestreo (duplicado por muestra).
- Tomar el 3% de las muestras como duplicado en una cuenca diferente dentro de la misma subcelda (duplicado de celda).
- Tomar duplicados de muestreo en subceldas (20 x 20 km) seleccionadas aleatoriamente (3% del total de muestras tomadas en cada celda de 160 x 160 km).

Fotografías

Tomar mínimo dos fotografías de cada sitio de muestreo: la primera para mostrar la topografía general aguas arriba, a partir del primer punto de muestreo de sedimento activo, y la segunda para mostrar la naturaleza del lecho de la corriente en el mejor subpunto de muestreo

(topografía y alrededores, afloramientos de interés en la zona de muestreo, etc.).

Ficha técnica para el muestreo de suelos

Alcance y campo de aplicación

- El presente procedimiento aplica para recolección de muestras de suelos, de acuerdo con los requerimientos del proyecto Compilación y Levantamiento de la Información Geoquímica del Territorio.
- El muestreo empleado corresponde a un diseño aleatorio, balanceado, estratificado con patrón bidimensional. Con base en la red de muestreo global (proyecto de mapeo geoquímico global), se toman celdas unitarias de tamaño y orden según la densidad de muestreo.

Principios básicos y definiciones

- Los suelos son uno de los medios más representativos del ambiente superficial, por lo cual aparecen en la mayoría de las investigaciones geoquímicas y ambientales y se toman como un reflejo de las variaciones de la composición geogénica de las capas más superficiales de la corteza terrestre.
- Los suelos son también uno de los medios de muestreo recomendados por el grupo de trabajo del proyecto Líneas Base Geoquímicas Globales de la IUGS.
- Las muestras que se van a recolectar son suelos residuales o sedentarios y deben ser representativas del tipo de suelo residual dominante de la pequeña cuenca de drenaje. No se deben muestrear suelos aluviales.
- Siempre se tomará muestra de suelo del horizonte superficial, u horizonte A, entre 0 y 25 cm de profundidad y sin incluir la capa orgánica superficial (vegetación fresca, *litter* o humus). Opcionalmente se tomará muestra de un horizonte C u horizonte profundo, entre 50 y 200 cm de profundidad.

Materiales y equipos

- Bolsas plásticas para muestras de suelos (material libre de metales), capacidad de 3 kg.

- Guantes desechables (1 por muestra) o guantes de caucho.
- Muestreador (cilíndrico o pala) (material libre de metales).
- Pala o cuchara de plástico.
- Medidor métrico plegable de madera, de 2 m de longitud (material libre de metales).
- Marcadores de tinta indeleble (preferiblemente de color negro o azul).
- Cajas plásticas para transporte de muestras.
- Mapas (mapas topográficos, preferiblemente a escala 1:100 000 o 1:50 000).
- Elementos para trabajo geológico (brújula, GPS, martillo, lupa, etc.).
- Cámara fotográfica.
- Cinta de enmascarar para sellar las bolsas de muestreo.
- Etiquetas para identificación de muestras.
- Libreta para anotaciones de campo.

Identificador de las muestras

Cada etiqueta de marcado de las muestras (suelos) contiene un código de letras y números que indican la plancha 1:25.000, que se está muestreando, el tipo de muestra colectada, la secuencia y si se trata de duplicados.

Ejemplo 1: 97IIA-SUA-XXX (D),

donde:

97IIA Números que indican la identificación de la plancha 1:25 000 que se está muestreando.

SUA Indica que el tipo de muestra es suelo horizonte superior (A_{0-25} cm).

XXX número consecutivo de colecta de la muestra (001, 002, etc.).

D Indica si es una muestra duplicado.

Nota: La numeración para cada sitio de muestreo es definida previamente a la recolección de la muestra en campo.

Ejemplo 2: 97IIA-SUC-XXX (D),

donde:

- 97IIA Números que indican la identificación de la plancha 1:25000 que se está muestreando.
- SUC Indica que el tipo de muestra es suelo horizonte profundo (C), capa 25 cm ubicada a una profundidad entre 50 y 200 cm.
- XXX número consecutivo de colecta de la muestra (001, 002, etc.).
- D Indica si es una muestra duplicado.

Nota: La numeración para cada sitio de muestreo es definida previamente a la recolección de la muestra en campo

Procedimiento

Selección del sitio de muestreo

- De acuerdo con la distribución por celdas y subceldas, se seleccionan en planchas o fotografías aéreas a escalas 1:25 000, 1:50 000 o 1:100 000, las cuencas de drenajes (ubicadas en cada subcelda) que cumplan los requisitos de tamaño y orden.
- En un lugar cercano al sitio seleccionado para recolección de aguas y sedimentos, se selecciona el sitio para tomar la muestra de suelo residual, el cual debe ser representativo del tipo de suelo dominante en la pequeña cuenca donde se tomará la muestra respectiva.
- El sitio de muestreo del suelo residual debe estar ubicado por encima de la planicie aluvial del río y de la base de la pendiente, donde el aluvión y el coluvión son depositados respectivamente.
- Seleccionar un área apropiada, donde se puedan excavar de tres a cinco huecos y a una distancia mínima entre ellos de 5 m.

Identificación de las muestras

- Colocar el identificador de la muestra en la bolsa plástica de muestreo, usando un marcador de tinta indeleble.
- Marcar el punto exacto de la primera y última submuestras en el mapa de campo por medio de pequeñas líneas perpendiculares. Se recomienda marcar el número identificador de la muestra sobre el mapa, cerca del punto de localización del muestreo.
- Diligenciar los detalles descriptivos del sitio de muestreo y de la muestra, tomar las coordenadas geográficas y anotarlas en el formato de captura de datos.

Muestreo del suelo

- Cavar los apiques en los sitios seleccionados, completar los detalles descriptivos de los horizontes del suelo y anotarlos en el formato de captura de datos.
- Retirar la vegetación superficial (capa orgánica viva), el *litter* fresco, las raíces grandes y los fragmentos de rocas (piedras).
- Tomar la muestra de suelo superficial (horizonte A, 0-25 cm), después de retirar la capa vegetal, en cada apique. No incluir fragmentos de rocas ni raíces. Obtener una sola muestra compuesta, resultante de mezclar cantidades iguales de cada submuestra. Se deben obtener aproximadamente 2 kg de muestra compuesta con tamaño de partícula menor de 2 mm.
- Colectar la muestra en la bolsa de muestreo, colocar la bolsa de muestreo sellada dentro de otra bolsa de polietileno y amarrar con un nudo esta bolsa, para evitar contaminación cruzada durante el transporte. Sellar completamente con cinta de enmascarar y marcar de nuevo con el identificador de la muestra.
- Tomar una muestra de suelo más profundo correspondiente al horizonte C, inmediatamente encima de la roca o material parental, o si no es posible alcanzar este nivel, en una sección de 25 cm de espesor dentro de un rango de profundidad entre 50-200 cm, en cada apique construido para el muestreo de suelos.

- Tomar la muestra más profunda a una profundidad tal que el horizonte pueda identificarse como horizonte B-C o C (no olvidar anotar estas condiciones como comentarios en la ficha de observaciones de campo), en caso de que todo el perfil del suelo no alcance una profundidad de 75 cm. Si no es posible lo anterior, se debe seleccionar otro punto de muestreo.
- La muestra más profunda (subsuelo) se toma primero y luego se toma la muestra más superficial (*topsoil*). Este procedimiento evita tener que limpiar el suelo superficial que cae y se deposita sobre la superficie del subsuelo, si se toma primero el suelo más superficial (*topsoil*). Colocar las muestras en una caja de plástico con el fin de transportarlas al laboratorio para su preparación.

Preparación de la muestra

- Preparar la muestra adecuadamente es garantía de un buen resultado analítico. Por esta razón, las precauciones que se tienen en cuenta para evitar la contaminación durante el muestreo se deben tomar también durante la etapa de preparación de las muestras.
- Desempacar, verificar la identificación y organizar las muestras en un área especial, libre de toda contaminación.
- Secar las muestras a temperatura ambiente ($<40\text{ }^{\circ}\text{C}$). Colocar la muestra en la bolsa y voltearla si es necesario.
- Evitar cualquier humedad residual porque puede promover reacciones anaeróbicas, incluyendo reducción de sulfatos. Cuando la bolsa de campo esté húmeda, la muestra se debe transferir a una bolsa nueva.
- Desintegrar la muestra, si se requiere, en mortero de madera o en recipiente plástico.
- Tamizar las muestras en un tamiz de nailon de $150\text{ }\mu\text{m}$, de acuerdo con las especificaciones ASTM 11-70 y correspondiente a una malla n.º 100 en la designación de Tyler.
- Preparar y homogeneizar en plástico, y mecánicamente unos 100 g de muestra, los cuales son distribuidos y enviados al Laboratorio de Geoquímica de Ingeominas y a laboratorios internacionales para sus respectivos análisis, y otra fracción para archivo de testigos.

- Guardar en el archivo de muestras la fracción que no es utilizada y la que no pasa la malla n.º 100.

Control de calidad en el muestreo

Precauciones generales

- Mantener alejados los sitios de muestreo de fuentes evidentes de contaminación por actividades antrópicas; es decir, a distancias prudentiales de carreteras (mínimo 100 m) o de canales de agua o zanjas (mínimo 100 m).
- Utilizar instrumentos en materiales plásticos o de madera sin pintar, o en su defecto usar herramientas en acero inoxidable, pero no de aluminio o latón, para evitar posibles contaminaciones con metales.
- Utilizar guantes desechables, para manipular las muestras.
- Usar tamices de nailon, que no contengan metales y contruidos sobre estructuras de madera natural o de plástico (libre de metales).
- Emplear recipientes para recolectar las muestras, que estén hechos de materiales que no contengan metales (bolsas y recipientes plásticos nuevos).

Control del muestreo

- Tomar como mínimo un 3% de las muestras por duplicado en el mismo sitio de muestreo (duplicado por muestra).
- Tomar el 3% de las muestras como duplicado en una cuenca diferente dentro de la misma subcelda (duplicado de celda).

Fotografías

Tomar por lo menos dos fotografías de cada sitio de muestreo: la primera para mostrar el paisaje en las cercanías del sitio de muestreo, y la segunda para mostrar las características de la capa orgánica y de los horizontes del suelo en uno de los apiques de muestreo. Antes de tomar la segunda fotografía, se recomienda marcar los horizontes del suelo y colocar una escala o cinta métrica de madera, para mostrar las capas y las características texturales de cada horizonte.

Registro de observaciones de campo

La descripción y documentación de los datos de muestreo y de los tipos de muestras recolectadas en los programas de cartografía geoquímica de Baja, Media y Alta Densidad (BMAD) se hace en el formato de captura de datos. Este formato, que se encuentra en la p. 100, consta de dos partes; una parte donde se captura la información general sobre tipo de muestra, localización y descripción del sitio de muestreo y otra parte donde se toma información específica sobre el tipo de muestra (agua, suelo y sedimento). Además cada formato tiene una parte de observaciones donde se puede anotar cualquier observación suplementaria que los investigadores consideren significativas e importantes en la interpretación geoquímica de los resultados.

Preparación y archivo de muestras

Todas las muestras del proyecto Compilación y Levantamiento de Información Geoquímica del Territorio son enviadas con su correspondiente documentación (formatos de Captura de información en campo y fotografías) al Laboratorio de Geoquímica de Ingeominas.

Las muestras de aguas sin filtrar, así como las muestras filtradas y acidificadas son enviadas a los laboratorios de Geoquímica y de Química Ambiental de Ingeominas, para los análisis correspondientes.

Las muestras de sedimentos activos, suelos y sedimentos de llanura de inundación son trasladadas al Laboratorio de Geoquímica, para preparación (secado y tamizado seco), análisis y archivo correspondientes (testigos).

El archivo de los testigos se efectúa en las instalaciones del Laboratorio de Geoquímica de Ingeominas.

Una descripción completa de los métodos analíticos utilizados en Ingeominas, así como de los análisis que se adelantan en laboratorios externos se presentan en otros manuales de análisis de laboratorio.

Preparación de las muestras

La preparación adecuada de las muestras es garantía de un buen resultado analítico, por lo tanto las recomendaciones que se han presentado para evitar contaminación durante la recolección de las muestras, deberán ser seguidas rigurosamente durante la etapa de preparación.

Equipos

- Bandeja o caja para secado (plástico libre de metales).
- Mortero con mango de madera (porcelana o material libre de metales) para disgregar muestras.
- Tamiz de nailon de apertura de malla de 0,15mm.
- Tamiz de nailon de apertura de malla de 2 mm.
- Cuarteador (material libre de metales).
- Cepillo de nailon para limpieza (aire a presión).
- Acetona (limpieza).
- Agua desionizada (limpieza).
- Recipientes de polietileno (PE) de 100 g para empaque para análisis en Ingeominas y para envío a laboratorios externos.
- Recipientes de PE de 100 g para empaque de muestras duplicados.
- Recipientes de PE de 500 g para empaque de testigos.
- Recipientes de PE de 1000 g para empaque de muestras de Líneas Base Geoquímicas Global.
- Etiquetas de laboratorio adhesivas para marcado de cada submuestra.
- Marcadores de tinta indeleble de punta fina.

Tipos de muestras a ser preparadas

- Sedimento de corriente (SA), fracción de tamaño <0,15 mm
- Suelo, horizonte superficial, 0-25 cm (SUA), sin la capa orgánica superficial, fracción de tamaño <2mm
- Sedimento de llanura de inundación (SFS), horizonte superficial 0-25 cm, fracción de tamaño <0,15 mm

Procedimiento para preparación y archivo de muestras

Como ilustración se presenta el esquema general del procedimiento empleado en el Laboratorio de Geoquímica de Ingeominas para preparación por tamizado en seco de las muestras de sedimentos activos y

sedimentos de llanura de inundación (figura 5). Un esquema similar es seguido para la preparación de muestras de suelos.

Para evitar contaminación, durante la preparación de las muestras, se deben seguir rigurosamente las siguientes precauciones y recomendaciones:

- No usar joyas durante la preparación. Se debe usar, todo el tiempo, guantes de caucho, para evitar la contaminación de las muestras.
- Los elementos de preparación deben ser de madera (sin pintar, natural) o polietileno (plástico). Se debe evitar el uso de equipos de aluminio o de latón. Si se usan morteros de porcelana o ágata (o de otro material) debe anotarse en la ficha de documentación de la muestra y enterar al laboratorio que efectuará los análisis respectivos.
- Se recomienda acondicionar un salón exclusivo para secado de muestras (a $T < 40^{\circ}\text{C}$)
- Se recomienda disponer de un salón especial y exclusivo para preparación de muestras
- Se recomienda adecuar un salón exclusivo para archivo ordenado de testigos.
- No se debe permitir fumar, en el lugar de secado o almacenamiento de las muestras y tampoco durante la preparación.
- Los encargados de la preparación de las muestras deben contar con los elementos de protección, higiene y seguridad industrial reglamentarios.
- Los recipientes utilizados para el secado y los tamices deben estar perfectamente limpios
- Después de preparar cada una de las muestras, se debe limpiar cuidadosamente el equipo utilizado (morteros, bandejas, tamices, cuarteadores, cepillos, etc.). Se recomienda limpiar con corriente de aire limpio y con agua y acetona.
- Debe guardarse especial cuidado en la marcada de las muestras para enviarlas a los respectivos laboratorios de análisis o para archivo de testigos.

- El archivo de las muestras testigos, debe ser cuidadoso y ordenado. Las muestras a archivar deben estar selladas herméticamente y bien marcadas.

Preparación de las muestras en molinos

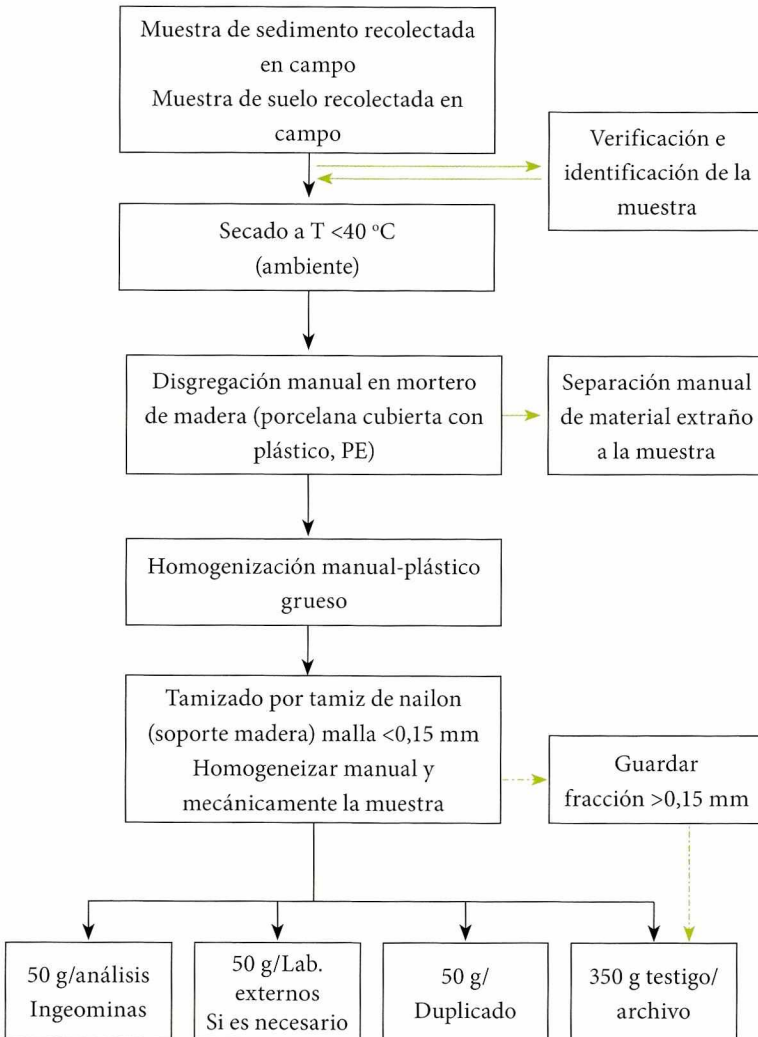


FIGURA 5. Esquema del procedimiento de tamizado para muestras de sedimentos de corriente, suelos y sedimentos de llanura de inundación.

Muestreo Geoquímico de Baja, Media y Alta Densidad
Formulario de captura de datos de campo

5. Datos de campo para sedimentos activos:

N.º de submuestras:

Intervalo de muestreo (m):

Color predominante

N.º de bateadas para el concentrado

Altura del canal del río (m)

Tamaño de partícula predominante en el lecho %

Bloques

Gravas

Arena

Limo

Lodo

Forma partícula sedimento:

☐ Angulosa

☐ Subangular

☐ Subredondeados

☐ Redondeado

☐ Bien Redondeado

Clasificación del sedimento

Composicional

Textural

Sitio muestreo

Angosto

Abierto

Influencia coluvión

Influencia tributario

Composición sedimento %:

☐ Cuarzo

☐ Feldespato

☐ Fragmentos líticos

☐ Minerales pesados

¿Cuáles?

☐ Otros

¿Cuáles?

Color

Olor

6. Datos de campo para aguas

6.1. pH:

ToC:

6.2. Conductividad

CE

S/cm

mS/cm

mS/cm

6.3. Tipo cuerpo agua:

☐ Río

☐ Lago/laguna

☐ Pantano/ciénaga

6.4. Olor:

Sin olor

Sulfuros

Hidrocarburos

Otro, ¿cuál?

6.5. Clase:

☐ Sin filtrar, sin acidificar

☐ Filtrada y acidificada

☐ Para mercurio

☐ Otro, ¿cuál?

6.6. Turbidez

☐ Baja

☐ Media

☐ Alta

☐

6.7. Color

Observaciones:

Muestreo Geoquímico de Baja, Media y Alta Densidad

Formulario de captura de datos de campo

5. Datos de campo para suelos			
Sitio			
Distancia aprox. al río (m)		Altura aprox. sobre el río (m)	
5.1. Horizonte A			
Profundidad (cm):	N.º de submuestras:	Humedad:	
Color	4. PH:	Muy húmedo	☐
Cod. tabla Münsell	ToC	Húmedo	☐
		Poco húmedo	☐
		Seco	☐
Textura:	Abundancia de clastos (%):		
Arenosa ☐	0-2	☐	
Franco arenosa ☐	2-5	☐	Estructura del suelo
Franca ☐	5-15	☐	Fibrosa ☐
Franco limosa ☐	15-40	☐	Prismática ☐
Limosa ☐	40-80	☐	Columnar ☐
Franco arcillosa ☐	>80	☐	Blocosa angular ☐
Limo-arcillosa ☐		☐	Blocosa subangular ☐
Areno-arcillosa ☐	Contenido orgánico		Laminar ☐
Arcillo-arenosa ☐	Bajo	☐	Granular ☐
Arcillo-limosa ☐	Medio	☐	Migajosa ☐
Arcillosa ☐	Bajo	☐	Cúbica ☐
		☐	Masiva ☐
5.2. Horizonte B			
Profundidad (cm):	N.º de submuestras:	Humedad:	
Color		Muy húmedo	☐
Cod. tabla Münsell		Húmedo	☐
		Poco húmedo	☐
		Seco	☐
Textura:	Abundancia de clastos (%):		
Arenosa ☐	0-2	☐	
Franco arenosa ☐	2-5	☐	Estructura del suelo
Franca ☐	5-15	☐	Fibrosa ☐
Franco limosa ☐	15-40	☐	Prismática ☐
Limosa ☐	40-80	☐	Columnar ☐
Franco arcillosa ☐	>80	☐	Blocosa angular ☐
Limo-arcillosa ☐		☐	Blocosa subangular ☐
Areno-arcillosa ☐	Contenido orgánico		Laminar ☐
Arcillo-arenosa ☐	Bajo	☐	Granular ☐
Arcillo-limosa ☐	Medio	☐	Migajosa ☐
Arcillosa ☐	Bajo	☐	Cúbica ☐
		☐	Masiva ☐
5.3. Horizonte C			
Profundidad (cm):	N.º de submuestras:	Humedad:	
Color		Muy húmedo	☐
Cod. tabla Münsell		Húmedo	☐
		Poco húmedo	☐
		Seco	☐
Textura:	Abundancia de clastos (%):		
Arenosa ☐	0-2	☐	
Franco arenosa ☐	2-5	☐	Estructura del suelo
Franca ☐	5-15	☐	Fibrosa ☐
Franco limosa ☐	15-40	☐	Prismática ☐
Limosa ☐	40-80	☐	Columnar ☐
Franco arcillosa ☐	>80	☐	Blocosa angular ☐
Limo-arcillosa ☐		☐	Blocosa subangular ☐
Areno-arcillosa ☐	Contenido orgánico		Laminar ☐
Arcillo-arenosa ☐	Bajo	☐	Granular ☐
Arcillo-limosa ☐	Medio	☐	Migajosa ☐
Arcillosa ☐	Bajo	☐	Cúbica ☐
		☐	Masiva ☐
Observaciones			

Métodos de muestreo y determinaciones opcionales para proyectos de Líneas Base Geoquímicas Globales

Para proyectos de Líneas Base Geoquímicas, se pueden utilizar otros medios de muestreo adicionales a los ya descritos en este manual, razón por la cual se ha considerado importante colocar en este anexo la metodología general para el muestreo de humus y la determinación de parámetros que son de utilidad e interés en estudios geoquímicos.

Para la selección de sitios y las condiciones generales de muestreo se siguen las indicaciones y protocolos descritos en las partes uno y dos de éste manual.

Aguas para determinación de alcalinidad en campo y muestreo para determinación de COT, Hg y otros metales traza

Tipo de muestras de aguas

1 botella de 100 ml de agua filtrada para análisis por ICP-MS/ AES (metales traza).

1 botella de 60 ml para análisis de carbono orgánico total (COT).

1 botella de 100 ml para análisis de mercurio (Hg).

Materiales, reactivos y equipos

- Agua destilada y desmineralizada (desionizada) y frascos lavadores.
- HNO_3 concentrado al 60-65%, densidad 1,40 kg/l (Merck suprapuro (R) 100441 o equivalente).
- Dicromato de potasio $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ y ácido nítrico suprapuro HNO_3 :
2 g $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ /100 ml HNO_3
- Equipo de campo para filtración con membrana, 4,5 cm de diámetro.
- Equipo muestreador de aguas.
- Botellas nuevas de polietileno de 60 ml (para muestras filtradas, no acidificadas, para análisis de COT).
- Botellas de plástico endurecido de 100 ml para análisis de mercurio.

- Botellas de nalgene estériles libres de elementos trazas de 30 ml (para análisis por ICP-MS).
- Botellas de nalgene estériles libres de elementos trazas de 30 ml (para análisis por ICP-AES).
- Guantes desechables (guantes de vinilo de punta media, libres de polvo o similares)
- Jeringas desechables (ejemplo, Becton & Dickenson de plastipak).
- Membranas de filtración (filtros desechables) de 0,45 μm de tamaño de poro (libres de pirógenos), 4,5 cm de diámetro.
- Dispensadores (goteros) hechos de FEP.
- Marcadores de tinta indeleble.
- Enfriadores plásticos (neveras).
- Cinta de enmascarar.
- Cajas plásticas para traslado de muestras.
- Mapas (mapas topográficos, preferiblemente a escala 1:50 000).
- Probetas plásticas (cilindros medidores) de 100 ml (para medir alcalinidad, métodos a y b).
- Erlenmeyers de plástico de 500 ml (para medir alcalinidad, métodos a y b).

Para determinación de alcalinidad siguiendo el *método a* (descripción en la p. 107)

- Titulador digital Hach modelo 16900-01 o similar con dosificador de la solución.
- Cartuchos (ampollas) de ácido sulfúrico 1,6 N para titulador digital Hach.
- Cartuchos de ácido sulfúrico 0,16 N, para titulador digital Hach.
- Solución indicadora de verde de bromocresol: pesar exactamente 0,05 g de verde de bromocresol en un balón color ámbar. Adicionar 50 ml de etanol absoluto y agitar hasta disolución.

Para determinación de alcalinidad total siguiendo el *método b* (descripción en la p. 108).

- H_2SO_4 1,6 N: diluir 44,4 ml de H_2SO_4 concentrado (% en masa = 96, densidad = 1840 g/l) a 1000 ml con agua desionizada.
- H_2SO_4 0.16 N: diluir 10 ml de H_2SO_4 1,6 N a 100 ml con agua desionizada.
- Solución indicadora de verde de bromocresol: Pesar exactamente 0,05 g de verde de bromocresol en un balón color ámbar. Adicionar 50 ml de etanol absoluto y agitar hasta disolución.
- Balones volumétricos, de 100 y 1000 ml de capacidad.
- Bureta o similar, de 10 ml de capacidad, graduada en divisiones de 0,02 ml
- Pipetas desechables-Pasteur.

Muestreo de aguas para determinación de alcalinidad en campo y para determinación de COT, Hg y otros metales traza

Las muestras de agua deberán tomarse de la siguiente manera:

1. Escribir el número de la muestra en la botella de 100 ml para metales traza y en la de 100 ml para Hg y el número y COT en la botella de 60 ml para Carbono Orgánico Total.
2. Completar el formato para captura de datos (documentación de la muestra) de campo de la muestra y marcar la posición y el número de la muestra en el mapa.
3. Filtrar las muestras de 100 ml.
 - Colocar guantes de vinilo.
 - Lavar una jeringa desechable con la muestra de agua y luego llenarla completamente con agua.
 - Colocar un filtro en la jeringa (o equipo de filtración).
 - Descartar los primeros 10 ml de agua filtrada, cada vez que use un nuevo filtro.

- Tomar la botella (marcada) de 100 ml para muestra acidificada y lavarla dos veces con muestra de agua filtrada.
 - Llenar las botellas hasta el cuello con agua filtrada (cambiar de filtro si es necesario) y cerrarlas herméticamente. Tener en cuenta que la muestra de agua filtrada deberá caer directamente en la botella sin que tenga contacto con las manos.
4. Tomar la botella marcada de 60 ml para la muestra de TOC y lavarla dos veces con muestra de agua filtrada:
 - Llenar la botella para muestreo de TOC hasta el cuello con agua filtrada (cambiar el filtro si es necesario) y cerrarla herméticamente.
 - Tener en cuenta que no se debe permitir por ejemplo fumar o tener en funcionamiento el motor del carro, cuando se toma la muestra de agua.
 5. Lavar dos veces la botella marcada para muestreo de Hg con muestra de agua y llenarla hasta el cuello y cerrarla herméticamente.

Medidas de alcalinidad total

La alcalinidad representa la capacidad del agua para neutralizar ácidos. Está definida como la cantidad de iones presentes en el agua que neutralizarán iones hidronio. En ésta clase de iones están por ejemplo CO_3^{2-} , HCO_3^- , OH^- , HSiO_3^- , H_2BO_3^- , HPO_4^{2-} y H_2PO_4^- (Frason, 1980). La alcalinidad se expresa generalmente en miligramos por litro de CaCO_3 . Lo anterior significa que la cantidad total de todos los iones que neutralizan los ácidos se transforma por cálculo en una concentración equivalente de CaCO_3 .

La determinación de la alcalinidad se realiza titulando una cantidad conocida de agua con ácido (ejemplo: H_2SO_4 o HCl) a pH 4,5. En este punto todos los iones que neutralizan el ácido se agotan y el indicador (ejemplo: fenolftaleína o verde de bromocresol) cambia de color.

Existen 2 métodos para determinar la alcalinidad. Seguir el método (a) o el método (b) en campo.

Método a: usando titulador digital Hach

- Seleccionar un cartucho (ampolla) de ácido sulfúrico 1,6N o 0,16N, de acuerdo con la alcalinidad esperada de las muestras.
- Asegurar el cartucho a la agarradera del titulador digital y empujar el pistón del titulador hacia abajo hasta que alcance la parte superior (tapa) del cartucho. Remover la cubierta del cartucho y fijar la manguera de alimentación dentro de la parte terminal del cartucho. Girar la válvula grande (rueda) del titulador hasta que todo el aire sea removido del cartucho y de la manguera de alimentación, hasta que una gota de ácido salga por el final de la manguera. Limpiar el final de la manguera para remover el exceso de ácido. Colocar la escala del titulador en cero girando la válvula (rueda) pequeña hacia la izquierda de la escala delantera.
- Lavar la probeta de medición del equipo y el erlenmeyer con agua destilada y desionizada antes de lavarlos con una pequeña cantidad de la primera muestra. Usando la probeta, colocar 100 ml de la primera muestra en el erlenmeyer.
- Asegurarse de que la tapa de la botella de la muestra quede bien ajustada mientras se realiza cada una de las mediciones con el fin de reducir pérdidas de los gases de las muestras.
- Adicionar unas pocas gotas (dos) de indicador verde de bromocresol usando una pipeta pequeña.
- Adicionar el ácido utilizando la válvula (rueda) grande del titulador hasta que la solución cambie de azul a verde amarillento y cuando esto ocurra anotar la lectura que marca la escala del titulador.
- Cuando se utiliza el cartucho de 0,16N, las lecturas deberán multiplicarse por 0,1.
- La lectura representa la alcalinidad total expresada como mg/l de CaCO_3 . Escribir la alcalinidad en la respectiva ficha de la muestra.
- El titulador debe ser colocado nuevamente en cero y la probeta y el erlenmeyer deben lavarse con una pequeña cantidad de la próxima muestra, antes de efectuar la próxima determinación.
- Las titulaciones deben efectuarse lo más rápido posible para evitar efectos de desgasificación.

Método b: Usando bureta normal

- Transferir 100 ml de la muestra de agua a un erlenmeyer de 250 ml, medidos con un balón volumétrico. Adicionar dos gotas de indicador verde de bromocresol con una pipeta desechable-Pasteur.
- Seleccionar una botella de ácido sulfúrico 1,6N o 0,16N de acuerdo con la alcalinidad esperada de la muestra.
- Mezclar y titular inmediatamente. Adicionar el H_2SO_4 gota a gota desde una bureta, mientras se agita continuamente la muestra. El punto final se alcanza cuando el color ha cambiado a amarillo. Anotar el volumen de ácido utilizado.
- Si la muestra de agua es muy coloreada y es difícil observar el punto final de la titulación, utilizar pH-metro para determinar el punto final. La solución titulada esta por encima de pH 4,5 después de la titulación, se debe lavar el pH-metro con agua destilada y desionizada y calibrarlo.
- Si se utilizó H_2SO_4 0,16N para la titulación, la alcalinidad de la muestra expresada como mg de CaCO_3 por litro está dada por la ecuación:

$$\text{Alcalinidad (mg CaCO}_3\text{/l)} = 80 V_{0,16\text{N}}$$

donde,

$V_{0,16\text{N}}$ = volumen de H_2SO_4 0,16N (ml) utilizado en la titulación.

Si se utilizó H_2SO_4 1,6N para la titulación, la alcalinidad de la muestra, expresada como miligramos de CaCO_3 por litro está dada por la ecuación:

$$\text{Alcalinidad (mg CaCO}_3\text{/l)} = 800 V_{1,6\text{N}}$$

donde,

$V_{1,6\text{N}}$ = volumen de H_2SO_4 1,6N (ml) utilizado en la titulación.

Preservación y envío de las muestras de agua

- En laboratorio o en condiciones similares, lo más pronto posible después del muestreo (por lo menos en el mismo día), adicionar a las

botellas de 100 ml con las muestras filtradas, 1,0 ml de HNO_3 concentrado con un gotero o frasco dispensador. Usar guantes de vinilo desechables limpios, porque el ácido es muy corrosivo. No permitir que la boca del gotero toque la muestra de agua en la botella. Tapar herméticamente la botella y agitar para que el ácido se mezcle bien con el agua.

- ¡No adicionar ácido a la botella de 60 ml para muestras de COT!
- Adicionar ácido nítrico y dicromato de potasio en las botellas con muestras de agua para análisis de Hg: 5 ml HNO_3 - $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ a la botella con 100 ml de agua.
- Colocar las botellas en una unidad de enfriamiento; ejemplo, nevera.
- Enviar las muestras de agua al laboratorio, tan pronto como sea posible.

Tamizado húmedo para sedimentos activos de corriente

Estudios adelantados en Inglaterra han demostrado que la recuperación de sedimentos activos por métodos de tamizado seco puede presentar problemas si no se tienen las precauciones suficientes, caso en el cuál induce errores, debido a la aglomeración de material fino que forma partículas más grandes que pueden ser desechadas en diferentes proporciones durante el tamizado. Por lo anterior se recomienda que siempre que sea posible se efectúe tamizado húmedo (IGCP 259 y el Foregs, en Salminen et ál., 1998).

Tipo de muestras de sedimentos para tamizado húmedo

- Cada muestra de sedimento comprende material tomado de 5-10 puntos sobre una longitud de la corriente de 250-500 m.
- Los detalles del tipo de sedimento a recolectar se describen en la p. 74 del presente manual.

Materiales, equipos y reactivos

- Bolsas de polietileno gruesas con capacidad para 0,5-1 kg.
- Guantes largos de caucho (para trabajo pesado).
- Embudo en polietileno (material libre de metales).

- Set de tamices, contruidos sobre estructura en madera o en plástico (material libre de libre de metales), con 2 tamices de nailon de mallas 200 y 150 μm .
- Agitadores y pala en plástico (material libre de metales).
- Batea de madera o balde plástico (material libre de metales).
- Cajas para empaque en plástico (material libre de metales).
- Baldes en plástico o recipientes con tapa (material libre de metales).
- Herramienta para hacer zanjas en polietileno (PE) o polipropileno (PP) (material libres de metales).
- Marcadores de tinta indeleble (preferiblemente negros o azules). Lapiceros de tinta.
- Mapas (mapas topográficos, preferiblemente a escala 1:100 000 o 1:50 000).
- Elementos para trabajo geológico (martillo geológico, lupa, brújula, GPS).

Muestreo de sedimentos activos para tamizado húmedo

Los sitios de muestreo deben ser seleccionados lo suficientemente aguas arriba de la confluencia de una corriente con las corrientes de mayor orden, con el fin de evitar muestrear sedimentos que provengan de la mezcla de material de los dos canales, especialmente durante los períodos de inundación.

Es importante evitar, durante todas las etapas de muestreo, la contaminación por metales, teniendo en cuenta las siguientes precauciones y recomendaciones:

1. No usar joyas o implementos médicos o quirúrgicos durante el muestreo. Si se usan implementos médicos, debe usarse todo el tiempo guantes de caucho de trabajo pesado, para evitar la contaminación de las muestras.
2. Usar palas plásticas, que no contengan metales o contruidos de madera natural o bruta (sin pintura).

3. Usar tamices de nailon, que no contengan metales y contruidos sobre estructuras de madera natural o de plástico (libre de metales).
4. Usar embudos y recipientes para recolectar las muestras, que estén hechos de materiales que no contengan metales.
5. No se debe permitir fumar o tener en funcionamiento el motor del carro, cuando se toma la muestra de sedimentos activos.
6. Si no es posible el uso de equipo no metálico (ejemplo: palas y tamices), se debe usar equipos de acero inoxidable sin pintar. Se debe evitar el uso de equipos de aluminio o de latón.
7. Se recomienda, por protección, usar guantes de caucho durante todo el muestreo

Las muestras de sedimentos se deben recolectar siguiendo las siguientes orientaciones:

1. Marcar el identificador de la muestra en la bolsa plástica de muestreo, usando un marcador de tinta indeleble.
2. Marcar el punto exacto de la primera y última submuestras en el mapa de campo por medio de pequeñas líneas perpendiculares al flujo de la corriente.
3. Completar los detalles descriptivos del sitio de muestreo y de la muestra, tomar las coordenadas geográficas y anotarlas en el formato de captura de datos.

Muestreo y tamizado húmedo

Seguir las instrucciones para la recolección de muestras descritos anteriormente. Después de haber recolectado la muestra de agua, se prepara el equipo para tomar la muestra de sedimento activo:

1. Lavar con agua corriente todo el equipo de muestreo de sedimentos activos (baldes, tamices, bateas, embudos, guantes y palas).
2. Colocar la batea o el balde de colecta en una posición estable (debido a que el material debe ser colectado de 5-10 puntos sobre una

distancia de 250-500 m, se recomienda que el sitio de tamizado esté localizado en un punto intermedio).

3. Colocar el tamiz de nailon de apertura de malla de 0,150 mm en una posición estable sobre la batea o el balde.
4. Colocar el tamiz de nailon de apertura de malla de 2 mm sobre el tamiz de 0,150 mm.
5. Es importante que las estructuras de los tamices coincidan bien sobre la batea o el balde de colecta, con el fin de evitar pérdidas de material en los bordes del balde.
6. En terrenos quebrados, donde existen colapsos o caídas de material al canal central, se deberá colectar el sedimento en un sitio lo más cercano posible al centro de la corriente, para evitar colectar material que se ha deslizado de las orillas.
7. En áreas de bajo relieve, el sedimento activo de corriente localizado en el centro del lecho (canal) puede estar enriquecido en cuarzo y empobrecido en arcillas y otras partículas finas. En estos casos, el material depositado a lo largo de las márgenes de la corriente durante periodos de mayor flujo o inundación, puede ser más fino y más apropiado para el muestreo geoquímico.

Colocar en los baldes plásticos cantidades iguales de sedimento activo grueso de 5-10 puntos de la corriente, teniendo cuidado de drenar y eliminar el exceso de agua.

Se debe colectar suficiente cantidad de material de granulometría gruesa de tal modo que se obtenga como mínimo 0,5 kg de material <150 μm (peso seco).

La cantidad de material grueso requerido puede variar substancialmente dependiendo de la geología suprayacente y del terreno. Los geoquímicos deben hacer uso de su conocimiento y experiencia para evaluar que tanto material grueso se necesitará.

Mezclar el material en los baldes que contienen el sedimento grueso (hasta el fondo con un agitador plástico) y transportarlo hasta el punto de tamizado.

Descargar el sedimento en el tamiz superior con ayuda de pala. Si se ha colectado más de un balde con sedimento grueso, se debe descargar por turnos sobre el tamiz, cantidades iguales de cada uno de los baldes.

Dispersar el material sobre toda la superficie del tamiz, usando como protección guantes de caucho.

Tener cuidado de retirar manualmente los fragmentos grandes (piedras) presentes en el sedimento (figura A1).



FIGURA A1. Tamizado húmedo de una muestra de sedimento activo de corriente.

Una vez que el tamiz del fondo contenga una cantidad razonable de sedimento <2 mm, retirar el tamiz superior y descartar el material >2 mm.

El sedimento <2 mm contenido en el tamiz del fondo se lava y se dispersa completamente sobre toda la superficie del tamiz con ayuda de agua y con sacudidas o golpeteo.

En ésta etapa es muy importante, que el material grueso que pueda inducir tendencias en la muestra, no entre en el balde de colecta. Esto se puede evitar lavando cuidadosamente el exterior del tamiz de fondo, antes de sacudirlo o agitarlo.

Para realzar la presencia (signature) de los elementos traza, es importante que todo el material $<0,150$ mm sea colectado, por lo tanto se

debe usar una cantidad mínima de agua para lavar el sedimento en el tamiz del fondo y todas las aguas de lavado deben retenerse en el balde de colecta hasta que la muestra haya sedimentado.

La muestra deberá ser lavada y agitada repetidamente hasta que todo el material fino haya pasado por el tamiz.

Todo el proceso de tamizado se debe repetir hasta que el balde de colecta contenga suficiente sedimento húmedo de granulometría fina, como para obtener 0,5-1 kg de peso de material seco.

Si el sedimento es colectado en una batea, se debe transferir a un balde de colecta con tapa, para transportarlo después al campamento base.

Una vez que se haya colectado suficiente sedimento húmedo, asegurar la tapa del balde de colecta. El sedimento deberá transportarse cuidadosamente al campamento base y se debe dejar sedimentar por lo menos durante 45 minutos, o hasta que el material en suspensión haya sedimentado y el agua sobrenadante (parte superior del sedimento) permanezca transparente.

Una vez que haya sedimentado el material en suspensión, se debe decantar cuidadosamente el agua sobrenadante. En ésta etapa debe tenerse cuidado de eliminar solamente el agua y no el sedimento.

El sedimento remanente debe ser homogenizado a profundidad y mezclado usando un agitador plástico, antes de ser decantado y traspasado a las bolsas de muestreo.

Haciendo uso del marcador de tinta indeleble, escribir el código identificador de la muestra en las bolsas de muestreo (1kg) (tantas como se necesiten para guardar todo el volumen de muestra obtenida). El tamaño de bolsa indicado permite un secado más fácil de las muestras.

El número de bolsas por sitio de muestreo deberá ser anotado en la ficha de campo y en la hoja de la lista total de muestras colectadas.

Una vez que la muestra tamizada haya sido homogenizada, se traspaasa cuidadosamente a la bolsa de plástico, usando un embudo plástico limpio.

Las bolsas de muestreo pueden permanecer abiertas para secado al aire (temperatura ambiente) en el campamento base, tanto tiempo como sea posible.

Cuando se vayan a trasladar las muestras, se coloca cada bolsa de muestreo en una bolsa de polietileno con capacidad de 2 kg y se asegu-

ra la parte superior de esta bolsa con un nudo, para evitar pérdidas o contaminación cruzada de las muestras durante el transporte.

Las muestras deben colocarse bien aseguradas y selladas (cinta de enmascarar) en forma vertical dentro de cajas o recipientes de empaque y se transportan cuidadosamente al institución base, para su secado posterior.

En la institución base, las muestras deberán secarse completamente a $<40^{\circ}\text{C}$. Se recomienda la liofilización porque ayuda a la disgregación de las muestras.

Entre un sitio de muestreo a otro se debe limpiar muy bien todo el equipo de muestreo, para evitar contaminación cruzada. Las muestras se deben secar al aire (o ser liofilizadas) antes de ser enviadas al laboratorio para preparación y análisis.

Muestreo de Humus

El humus se encuentra normalmente en áreas boscosas no perturbadas, sobre el suelo mineral normal. Se debe muestrear el material orgánico descompuesto, coloreado de color negro (humus).

No se deben tomar muestras en depresiones locales. El sitio de muestreo debe ser lo más plano posible, salvo que la muestra se colecte en un área montañosa (bosque o llanura-pampa). Si hay capa orgánica presente, coleccionar suficiente humus como para llenar la bolsa de muestreo (plástica de 3 kg), evitando cualquier contaminación (usar guantes para coleccionar y manipular las muestras).

Todos los puntos seleccionados deben estar localizados a una distancia suficiente del árbol más próximo para evitar precipitaciones o material desprendido desde los árboles (se recomienda una distancia mínima de 5m del árbol más próximo y de 3 m del arbusto más próximo, sin embargo cada grupo de muestreo está en libertad de hacer uso de su criterio para seleccionar los subsitios más apropiados en las áreas boscosas).

No se debe coleccionar humus crudo, porque es muy difícil definir el límite exacto entre el *litter* y el humus bruto (*raw*). Solamente se deben muestrear los 3 cm más superficiales del humus.

Tipo de muestras de humus

Se coleccionarán los siguientes tipos de muestras:

- 1-2 L de humus (donde está presente).
- *Muestras duplicado:* Tomar un duplicado de muestra en una subcelda seleccionada aleatoriamente para recolectar duplicados (mínimo 1 duplicado en una subcelda de 20 x 20 km por cada celda de 160 x 160 km).

Cantidades mayores de muestra pueden ser tomadas y archivadas separadamente en cada país.

Materiales, equipos y reactivos

- Bolsas plásticas (PE) para humus (material libre de metales) con capacidad para 2 l (3 kg).
- Guantes desechables (uno por muestra).
- Muestreador (muestreador cilíndrico o pala) (material libre de metales).
- Pala o cuchara de plástico o de acero.
- Cuchillo de acero inoxidable.
- Mapas (mapas topográficos, preferiblemente a escala 1: 100 000 o 1:50 000).
- Marcadores de tinta indeleble (preferiblemente de color negro o azul).
- Cajas plásticas para bolsas de muestras.
- Elementos para trabajo geológico (brújula, GPS).

Muestreo de humus

Cada muestra de humus debe ser una muestra compuesta de al menos cinco (5) lugares dentro de un área de 50 x 50 m.

Es importante evitar, durante todas las etapas de muestreo, la contaminación por metales, teniendo en cuenta las siguientes precauciones y recomendaciones:

1. No usar joyas o implementos médicos o quirúrgicos durante el muestreo. Si se usan implementos médicos, debe usarse todo el

tiempo guantes de caucho de trabajo pesado, para evitar la contaminación de las muestras.

2. Las herramientas de muestreo deben ser de madera (sin pintar, natural), polietileno (plástico) o acero (pala sin pintar). Se debe evitar el uso de equipos de aluminio o de latón.
3. No se debe permitir fumar o tener en funcionamiento el motor del carro, cuando se toma la muestra de humus.
4. Se recomienda, por protección, usar guantes de caucho desechables durante todo el muestreo (1 por cada muestra)

Las muestras de humus, se deben recolectar siguiendo las siguientes orientaciones (figuras A1, A2 y A3):

1. Seleccionar un área apropiada para recolectar 5 submuestras de humus.
2. Marcar el sitio de muestreo en el mapa de campo
3. Marcar el identificador de la muestra en la bolsa plástica de muestreo (2 L), usando un marcador de tinta indeleble.
4. Remover cuidadosamente, haciendo uso de guantes, la vegetación superficial (capa orgánica viva), *litter* fresco, raíces grandes y fragmentos de roca.
5. Remover cuidadosamente, haciendo uso de cuchillo (acero) o cuchara plástica, la capa mineral del suelo.
6. Después de estudiar la capa orgánica, completar los detalles descriptivos del sitio de muestreo y de la muestra, tomar las coordenadas geográficas y anotarlas en el formato de captura de datos.
7. En cada sitio se tomará una muestra de humus.
8. Después de coleccionar cada muestra, se debe limpiar completa y cuidadosamente el equipo de muestreo
9. Colectar la muestra en la bolsa de muestreo (plástica de 2 l). Colocar la bolsa de muestreo sellada dentro de otra bolsa de polietileno y amarrar con un nudo esta bolsa, para evitar contaminación cruzada durante el transporte. Sellar completamente con cinta de enmascarar y marcar nuevamente con el identificador de la muestra.

10. Colocar las muestras en una caja de plástico para su transporte al laboratorio.
11. Secar completamente las muestras, al aire, a una temperatura ambiente que no exceda 40 °C (¡pérdida de Hg!); colocar la muestra en la bolsa y voltearla si es necesario. Usar guantes. Debe evitarse cualquier humedad residual porque puede promover reacciones anaeróbicas, incluyendo reducción de sulfatos, lo cuál debe ser evitado.
12. Cuando las muestras estén secas, se transfieren a una nueva bolsa, si es necesario, porque la bolsa de campo puede estar todavía húmeda.

Fotografías

Tomar dos fotografías, en cada sitio de muestreo de humus: la primera para mostrar la topografía general de los árboles y la maleza, y la segunda de un acercamiento para mostrar las características de la capa orgánica (figuras A2, A3 y A4).



FIGURA A2. Muestreo de humus usando muestreador cilíndrico. Tomado de Foregs (Salminen et ál., 1998).



FIGURA A3. Separación de humus (a la izquierda) y las raíces (a la derecha). Tomado de Foregs (Salminen et ál., 1998).



FIGURA A4. Muestra final de humus. Tomado de Foregs (Salminen et ál., 1998).

REFERENCIAS

- China Geological Survey (2001). *Geochemical analytical protocols used in the IGGE of China*. Technical document. Darnley, A. G., Björklund, A., Bølviken, B., Gustavsson, N., Koval, P. V., Plant, J. A., Steenfelt, A., Tauchid, M., Xie Xuejing, Garret, R. G. & Hall, G. E. M. (1995). *A Global Geochemical Database for Environmental and Resource Management: Recommendations for International Geochemical Mapping*. Final report of IGCP Project 259. 2nd revised edition. Paris: Unesco.
- Colombia, Ministerio de Minas y Energía (2004). Decreto 252 de 2004. *Diario Oficial* 45.445. Bogotá: Imprenta Nacional de Colombia.
- Darnley, A. G., Björklund, A., Bølviken, B., Gustavsson, N., Koval, P. V., Plant, J. A., Steenfelt, A., Tauchid, M., Xuejing, X., Garrett, R. G. & Hall, G. E. M. (1995). *A global geochemical database for environmental and resource management: recommendations for International Geochemical Mapping*. Final report of IGCP Project 259, Earth Sciences, 19. Paris: Unesco.
- Demetriades, A., Ottesen, R. T. & Locutura, J. (ed.) (1990). Geochemical mapping of Western Europe towards the year 2000-Pilot Project Report: Western European. *Geological Surveys, Geological Survey of Norway*. Open File Report 90-105.
- Golterman, H. L., Sly, P. G. & Thomas, R. L. (1983). *Study of the relationship between water quality and sediment transport*. París: Unesco.
- GSE. <http://www.gsf.fi>
- Ingeominas (2004). *Muestreo de Ultra Baja Densidad (UBD) Fase II. Zona oriental de Colombia: áreas Orinoco, Amazonas y Catatumbo*, informe de muestreo. LT Geoperforaciones y Minería, Geominera S.A. y Geoconsulta Ltda. Bogotá: Ingeominas.
- Ingeominas (1996). *Diagnóstico de la información geoquímica de Colombia*. Santafé de Bogotá: Ingeominas.
- ISO 5667-12. (1995). Water quality-Sampling-Part 12: Guidance on sampling of bottom sediments.
- Krauskopf, K. B. (1979). *Introduction to geochemistry*. Nueva York: McGraw-Hill International.
- Levinson, A. A. (1973). *Introduction to geochemistry*. Nueva York: Harper Row.
- Ottesen, R. T., Bogen, J., Bølviken, B. & Volden, T. (1989). Overbank sediment: a representative sample medium for geochemical mapping. *Journal of Geochemical Exploration*, 32, 257-257.

- Plant, J. A., Klaver, G., Locutra, J., Salminen, R., Vrana, K. & Fordyce, F. (1997). The Forum of European Geological Surveys Geochemistry Task Group Inventory 1994-1996. *Journal of Geochemical Exploration*, 59, 123-146.
- Plant, J. A., Klaver, G., Locutra, J., Salminen, R., Vrana, K. & Fordyce, F. (1996). Forum of European Geological Surveys (Foregs) Geochemistry Task Group 1994-1996 Report. *British Geological Survey* (BGS). Technical Report WP/95/14.
- Salminen, R., Tarvainen T., Demetriades A., Duris M. & Fordyce F. (1998). Foregs. Geochemical Mapping Field Manual. *Geological Survey of Finland*, Guide 47, Espoo.
- Salminen, R., Tarvainen, T., Demetriades, A., Duris, M., Fordyce, F.M., Gregorauskiene, V., Kahelin, H., Kivisilla, J., Klaver, G., Klein, H., Larson, J.O., Lis, J., Locutura, J., Marsina, K., Mjartanova, H., Mouvet, C., O'Connor, P., Odor, L., Ottonello, G., Paukola, T., Plant, J.A., Reimann, C., Schermann, O., Siewers, U., Steenfelt, A., Van der Sluys, J., De Vivo, B. and Williams, L. (1998). FOREGS Geochemical mapping field manual. Geological Survey of Finland, Guide Number 47, Espoo, 42 pp. Disponible en <http://www.gtk.fi/foregs/geochem/fieldman.pdf>
- Unesco. Programa Internacional de Correlación Geológica (PICG).
- Unesco. International Geological Mapping (IGCP) project 259.
- Xie, X. & Yin, B. (1993). Geochemical patterns from local to global. *Journal of Geochemical Exploration*, 47(1-3), 109-129

El cuerpo de texto del libro
Manual de Geoquímica.
Muestreo de Ultra Baja Densidad y de Baja,
Media y Alta Densidad

está compuesto en tipos
Minion Pro y Lucida Sans

Esta obra fue impresa en la
Imprenta Nacional de Colombia

Bogotá - Colombia
2011

El objetivo fundamental del texto *Manual de Geoquímica. Muestreo de Ultra Baja Densidad y de Baja, Media y Alta Densidad* es presentar las bases metodológicas para realizar muestreos geoquímicos sistemáticos de reconocimiento estratégico y de cartografía geoquímica regional, con fines multipropósito, en los programas de exploración geoquímica multipropósito o de Ultra Baja Densidad (UBD), y de cartografía geoquímica regional de Baja, Media y Alta Densidad (BMAD).

En el manual se han acogido y adaptado las metodologías y recomendaciones para trabajo de campo del Programa Internacional de Correlación Geológica (IGCP) y las orientaciones para muestreo geoquímico de los servicios geológicos europeos en su publicación *Geochemical Mapping Field Manual*. Los resultados obtenidos de los muestreos geoquímicos sistemáticos, son base para avanzar en el conocimiento geoquímico de un territorio y aportan información para definir la línea base geoquímica de Colombia y delimitar zonas anómalas y regiones de dominio o concentración de elementos de interés para exploración de recursos minerales, planeación agrícola, estudios de salud y medio ambiente y para planeación de uso del territorio nacional.

ISBN 978-958-97896-8-1



9 789589 789681