



PERÚ

Ministerio
del Ambiente



MANUAL DE BUENAS PRÁCTICAS EN LA INVESTIGACIÓN DE SITIOS CONTAMINADOS MUESTREO DE SUELO



Durchgeführt von

giz Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Manual de buenas prácticas en la investigación de sitios contaminados: Muestreo de suelo

Publicado por:

© Ministerio del Ambiente
Av. Javier Prado Oeste N° 1440
San Isidro, Lima, Perú
Teléfono: (511) 611-6000

Cooperación Alemana, implementada por la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH
Bonn y Eschborn, Alemania

Fondo Regional de Cooperación Triangular en América Latina y el Caribe del Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ) de Alemania
Bonn y Eschborn, Alemania

"Proyecto Fortalecimiento del Sistema de Gestión Integral de Sitios Contaminados"
Cooperación Triangular México – Perú – Alemania
Responsable: Ingrid Cornejo
www.giz.de

Dirección General de Calidad Ambiental
Giuliana Patricia Becerra Celis
Directora General de Calidad Ambiental del Ministerio del Ambiente
Av. Javier Prado Oeste N° 1440, San Isidro
T +51 1 6116000
gbecerra@minam.gob.pe

Versión

Septiembre 2016

Revisión, coordinación y edición de contenido

Vilma Morales
Coordinadora del área de gestión de riesgos ambientales,
sustancias químicas y ecoeficiencia , Ministerio del Ambiente de Perú

Achim Constantin
Experto Integrado – CIM/GIZ, Ministerio del Ambiente de Perú

Catherine Cardich Salazar
Coordinadora de la Red Latinoamericana de
prevención y gestión de Sitios Contaminados - ReLASC

Texto

Andreas Marker
Consultor internacional

Se autoriza la reproducción total o parcial de esta publicación bajo la condición de que se cite la fuente.

Índice

Introducción	1
Objetivo	2
Procedimiento	3
A. Perforación ambiental de suelo superficial y sub-superficial con barrilete hueco, liner y equipo "direct push" Geoprobe	3
B. Preparación para la toma de muestra de los liners	6
C. Toma de muestras	8
D. Preparación de una muestra compuesta para análisis de metales y COSVs	11
E. Toma de muestra de suelo para determinación de COVs	13
F. Descarte de muestras no utilizadas y del corte de perforación	17

1.

Introducción

El *Manual de Buenas Prácticas en la investigación de Sitios Contaminados: Muestreo de Suelo* (desde ahora “*Buenas Prácticas de Muestreo de Suelo*”) contiene la descripción de actividades y secuencia de etapas que se deben seguir para garantizar la calidad y reproductibilidad de los resultados del muestreo.

En este documento se hace referencia a normas técnicas internacionales y guías peruanas que se deben conocer y aplicar, las cuales forman parte de los procedimientos descritos. Así también, el manual se basa en experiencias y datos empíricos obtenidos a lo largo del tiempo de un gran número de campañas de muestreo en sitios contaminados. Es importante recalcar que las Buenas Prácticas no sustituyen las guías técnicas publicadas por el MINAM, sino son complementarias y orientan la implementación de la normativa nacional.

Las *Buenas Prácticas de Muestreo de Suelo* involucran los procesos de perforación de suelo superficial y sub superficial, la toma de muestras individuales y la obtención de muestras compuestas. También incluyen los procedimientos de selección (screening) para dirigir la toma de muestras de Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs), los procedimientos de toma de muestras a partir de los núcleos y, de manera general, su almacenamiento, preservación y transporte. En el caso de muestras compuestas las Buenas Prácticas abarcan también los procedimientos de homogenización, cuarteamiento y toma de muestras representativas. Como parte de este documento, también se ha incluido las Buenas Prácticas están el lavado del equipo de muestreo y destino del material no utilizado.

La implementación de las Buenas Prácticas, es decir, la ejecución de procedimientos adecuados de muestreo, es un proceso sometido a un sistema de control de calidad. Esto involucra la calidad del muestreo en campo, la calidad y calibración de los equipos utilizados y la calificación de los equipos técnicos.

Este documento tampoco involucra las estrategias de muestreo, ni presenta lineamientos para la ubicación de los puntos de muestreo en el plano horizontal y vertical. Tampoco abarca los procedimientos de análisis de laboratorio y sus correlatos sistemas de control de calidad ni los procedimientos de acreditación y calibración. La planificación de muestreo se debe orientar por normas o conceptos las cuales varían conforme al tipo de contaminación (superficial o profunda; tipo de contaminantes, medios ambientales potencialmente afectados - suelo, agua o gases de suelo, por ejemplo), objetivo de la investigación, histórica del sitio, conocimientos preexistentes de la contaminación, etc. Los documentos marco sobre este tema son la Guía para el Muestreo de Suelos del MINAM (2014) y los Lineamientos y Procedimientos para la elaboración y evaluación de Informes de Identificación de Sitios Contaminados según D.S. N°002-2013-MINAM, D.S. N°002-2014-MINAM y RM N°137-2016-MINAM, entre otros, así como diferentes publicaciones a nivel internacional.

El presente Manual se encuentra acompañado por dos videos realizados en campo que detallan paso a paso lo descrito (video N° 02 y N° 03).

2.

Objetivo

Las *Buenas Prácticas de Muestreo de Suelo* tienen como objetivo brindar el alcance mínimo de los procedimientos necesarios para la ejecución de la toma de muestras de suelo y agua subterránea conforme estado de arte internacional. Además, orientar a los prestadores de servicio y autoridades competentes sobre un estándar en común.

Se entienden como Buenas Prácticas a las orientaciones técnicas para obtener muestras bajo criterios de diligencia, eficacia, eficiencia, aplicabilidad y repetitividad. Presentan un alcance mínimo de calidad de ejecución del muestreo para lograr muestras que son representativas para el medio muestreado. También presentan una idea sobre los equipos necesarios, su composición y su utilización en campo. En este sentido, deben ser aplicables independiente de normas y requisitos legales específicos. Las Buenas Prácticas se deben aplicar de igual modo en México, en Argentina, EEUU o Europa.

Glosario de abreviaturas

COV	Compuesto Orgánico Volátil
COSV	Compuesto Orgánico Semivolátil
COP	Compuestos Orgánicos Persistentes
PID	Detector portátil de fotoionización
BTEX	Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xileno

3.

Procedimiento

A continuación se describen los pasos directamente relacionados a la obtención de muestras representativas de suelo para su posterior análisis de laboratorio.

A. Perforación ambiental de suelo superficial y sub-superficial con barrilete hueco, liner y equipo "direct push" Geoprobe

El método de perforación aquí descrito es el estado de arte para la investigación de contaminaciones inorgánica y orgánica del (sub-) suelo. Las etapas a continuación descritas, pueden visualizarse en el video Nº 01.

La perforación con liner (= tubo interno de plástico) es una técnica internacionalmente utilizada recomendada para la investigación de contaminaciones con Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs). En el caso de que se investiguen solamente contaminaciones con metales y Compuestos no Volátiles/Semi volátiles (COSV) o Compuestos Orgánicos Persistentes (COPs), la utilización de barrenas abiertas conforme el capítulo 2.3 de la "Guía para Muestreo de Suelos" del MINAM representa una alternativa viable. Cabe resaltar que no se pueden obtener muestras para análisis de COVs con este método de perforación sin uso de liner.

En el presente ejemplo, se aplica la técnica de empuje directo ("direct push") para la perforación, utilizando un equipo de la empresa Geoprobe. Cabe mencionar que existen otras técnicas de empuje como el hincado, técnicas rotativas (por ejemplo, hollow stem auger) y de vibración, para introducir el barrilete con el liner al subsuelo. Mayor información sobre técnicas de perforación en la zona no saturada del suelo contiene la Norma Técnica Peruana NTP 339.252 (2003).¹

A 1. Preparar el barrilete (muestreador de tubo de pared delgada) e insertar el liner (tubo interno de plástico), el cual contendrá el núcleo de perforación, en un intervalo de perforación de, por ejemplo, 1,50 m. El liner tiene el largo del barrilete el cual tiene en su extremo inferior una zapata de hincado con extremo cortante.

A 2. Instalar el barrilete con el liner: en la instalación del segundo liner, es decir a partir de 1.5 m de profundidad, y en todos los tramos de perforación subsecuentes, se instalará una cerradura en la punta/broca del barrilete para evitar la entrada de material del suelo que raspa/arrastra material procedente de las paredes del pozo de perforación/agujero en el momento de bajar el barrilete y que puede causar una contaminación cruzada.

¹ Norma Técnica Peruana NTP 339.252 (2003): Suelos: Guía estándar para muestreo de suelos de la zona vadosa (zona no saturada por encima del nivel freático), 2003-04-10.

Observación: cuando se usa un barrilete abierto que generalmente no tiene cerradura, es indispensable eliminar el material arrastrado de la pared del intervalo superior. Este material se acumula en la parte superior del núcleo y generalmente es friable y fácil de distinguir del núcleo firme in situ.

A 3. Bajar el barrilete por presión y/o percusión y sacarlo con el equipo, en este caso equipo mecanizado Geoprobe.

Observación: Utilizando moto perforadoras de combustible como equipo de perforación, hay que tener cuidado por eventuales salidas accidentales de gasolina a partir del carburador. La gasolina puede entrar al agujero y/o la superficie del suelo, y de esa manera causar contaminaciones cruzadas.

A 4. Desmontar el barrilete y prepararlo para sacar el liner: este proceso no debe demorar ya que el liner está abierto en sus extremidades y eventuales COVs se pueden perder.

A 5. Retirar el liner, cerrarlo y lavarlo: el cierre del liner con las capas debe hacerse lo más rápido posible.

Observación: el núcleo dentro del liner puede ocupar mucho menos que 100 % del largo del liner, dependiendo de la compactación del suelo por el sondeo de presión/percusión. En sondeo rotativo el núcleo debe ocupar toda la extensión del barrilete, no habiendo compactación vertical.

El lavado del liner por fuera se hace con agua limpia.

A.1. Insertar el *liner*



A.2. Insertar el barrilete con el *liner*



A.3. Bajar el barrilete por presión



A.4. Desmontar el barrilete



A.5. Limpieza del *liner*



B. Preparación para la toma de muestra de los liners

B 1. Los liners llegan al laboratorio de campo: en el ejemplo del vídeo cada perforación recupera 6 m de núcleos (4 liners a 1,5 m de largo). Cuando no hay un laboratorio de campo, el muestreo de los liners o barriletes puede ocurrir en el piso sobre una lona de plástico o similar en local cerca de la perforación.

B 2. Se abre el liner con una lámina cortante para retirar las muestras de suelo: para esto se necesita una lámina especial. En el caso de muestreo de suelo para COVs, este procedimiento puede alternativamente seguir el procedimiento descrito en la Etapa E.

B 3. A continuación se realiza la documentación fotográfica y la descripción geológica del perfil de suelo. Para esto se necesita un técnico capacitado, de preferencia un geólogo y una hoja de descripción estandarizada, como la Ficha de Muestreo de Suelo según Anexo N°3 de la Guía para el Muestreo de Suelos del MINAM. La descripción de los suelos debe realizarse en base de normas técnicas existentes, como la NTP 339.150 (2001)² o la Norma ASTM D2488-93, considerando adicionalmente aspectos ambientales, como la presencia de componentes antropogénicos, olores y otras características organolépticas que pueden indicar la presencia de contaminantes en el suelo.

² Norma Técnica Peruana NTP 339.150 (2001): Suelos. Descripción e identificación de suelos. Procedimiento visual-manual.

B.1. Laboratorio de campo



B.2. Apertura del *liner*



B.3. Documentación fotográfica



C. Toma de muestras

Dependiendo del objetivo de la investigación y del modelo conceptual, las profundidades y conceptos de toma de muestras pueden variar. En nuestro ejemplo se decidió por una estrategia de muestreo enfocada en la determinación de la contaminación del suelo superficial 0 – 30 cm y del suelo sub superficial a 1 m de profundidad.

También se han seleccionado los parámetros (substancias de interés) en función del objetivo de la investigación y del histórico de la contaminación (ver capítulo 1.1: Evaluación Preliminar de la Guía para la Elaboración de Planes de Descontaminación de Suelos - MINAM 2014).

En nuestro ejemplo se toman 3 muestras en cada profundidad:

- 1 para análisis de metales y COSV,
- 1 para análisis de COVs (muestra laboratorio), y
- 1 para medición en campo de COVs por PID ("muestra PID", que se desechará).

C 1. Muestreo del suelo superficial: se toman 3 muestras en secuencia, cada una representando un intervalo del núcleo de unos 5 cm y pesando alrededor de 100 gramos, siendo así representativas para el suelo cerca de la superficie. La muestra para metales debe ser colectada del intervalo superficial, es decir de la capa de suelo que tiene contacto con la superficie.

A continuación, las muestras se almacenan en sacos plásticos debidamente rotulados (para medición de COVs - ver -* etapa E2 ALTERNATIVO, para la composición de muestra compuesta - ver -* etapa D1).

En el caso de la toma de muestras individuales, las muestras son almacenadas en recipientes especiales que se transportarán directamente al laboratorio (recipiente de plástico: muestras de análisis de metales, recipientes de vidrio: muestras de análisis de COSV).

C 2. Muestreo de suelo en la profundidad de 1 m (suelo subsuperficial): se toman las muestras en secuencia, cada una representando un intervalo del núcleo de unos 5 cm y pesando alrededor de 100 gramos. De esta manera, constituye una muestra representativa para el suelo en un punto ubicado a aproximadamente 1 m de profundidad.

A continuación, las muestras son almacenadas en sacos plásticos debidamente rotulados (para medición de COVs - ver -* etapa E2 ALTERNATIVO, para la composición de muestra compuesta – ver -* etapa D1).

En el caso de muestreo individual las muestras son almacenadas en recipientes especiales directamente para su transporte (recipiente de plástico: muestras para análisis de metales, recipientes de vidrio: muestras para análisis de COSV).

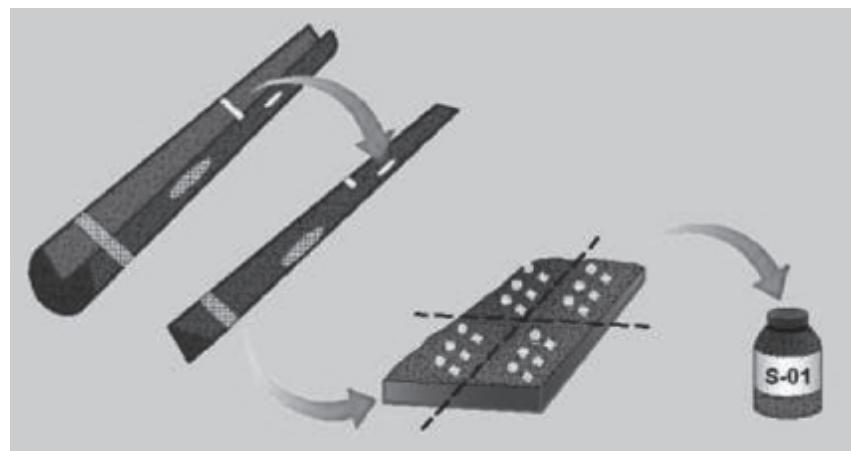
En el caso de muestras individuales de suelo para análisis de metales y COSVs, estas siguen directamente para el laboratorio.

La obtención de muestras para análisis de COVs sigue el procedimiento específico descrito en la Etapa E.

La obtención de muestras compuestas para análisis de metales y COSVs sigue la metodología descrita en seguida → Etapa D.

Observación: dependiendo del objetivo del muestreo, se pueden sacar muestras de intervalos (Imagen N° 1). El muestreo de intervalos proporciona el análisis de una concentración media de un intervalo de profundidad o de un horizonte geológico y puede ser indicativo para estimar el volumen total de contaminantes en un determinado volumen de suelo. También puede ser indicativo para el riesgo potencial que una contaminación del subsuelo puede afectar negativamente a las aguas subterráneas, determinando la tasa de contaminantes posiblemente disponibles para lixiviación (Vea capítulo 2.3, Guía para el Muestreo de Suelos MINAM 2014).

Imagen N° 1: Muestreo de núcleo por intervalo, cuarteamiento y obtención de muestra



C.1. Muestreo suelo superficial



C.2 Muestreo suelo profundidad 1m



D. Preparación de una muestra compuesta para análisis de metales y COSVs

La preparación de muestras compuestas es muy útil para determinar la contaminación promedia sobre todo del suelo superficial e identificar áreas con focos de contaminación o "focos calientes" (hot spots). El muestreo compuesto puede ser el primer paso para aproximarse a una contaminación puntual o para determinar el riesgo de contaminaciones difusas superficiales. A continuación se explican las buenas prácticas de obtención de una muestra compuesta, más no las estrategias del muestreo, alcances ni limitaciones del muestreo compuesto o multi incremento. Para esto vea el ITRC Incremental Sampling Methodology (ISM) del Interstate Technology and Regulatory Council (ITRC).³

D1. Como primer paso, se mezclan todas las sub-muestras que deben formar parte la muestra compuesta. En el ejemplo del video, se trata de 20 sub-muestras equitativas (= alícuotas), es decir, las sub-muestras tienen aproximadamente el mismo volumen e representan horizontes del suelo similares. En el presente caso, se obtenían las alícuotas de 20 diferentes perforaciones de una profundidad de 0 a 30 cm.

A continuación se pasan las sub-muestras por una criba de acero inoxidable de 2 mm y se separan las piezas/piedras mayores los cuales son descartados después del análisis visual. Es importante tener en cuenta que los ECA para Suelos del Perú son aplicables para la fracción ≤ 2 mm del suelo, y por lo tanto es ésta fracción que es de interés para la muestra compuesta.

Se homogeniza la muestra resultante para obtener una muestra representativa y se cuarta la muestra y toma sub-muestras de forma diagonal.

Se recolecta una muestra compuesta: una parte de unos 100 gr para el análisis de metales (frasco de plástico) y una de mismo peso para COSVs y plaguicidas (frasco de vidrio).

³ <http://www.itrcweb.org/Team/Public?teamID=11>.

D.1. Mezcla sub muestras



D.2. Separación de muestras mayores



D.3. Mezcla homogenizada



D.4. Muestra compuesta



E. Toma de muestra de suelo para determinación de COVs

A continuación se presentan prácticas de muestreo para la determinación de COVs, las cuales difieren entre sí debido a la manera de determinación los puntos de muestreo en el liner utilizando lectura con PID, y la toma de muestras para análisis químico en un laboratorio, tal y como se señala a continuación:

- **Buena Práctica E.1. y E.2:** corresponde a la norma técnica brasileña ABNT NBR 16434/2015: Muestreo de residuos sólidos, suelos y sedimentos - compuestos orgánicos volátiles, basada en la norma ASTM D 4547-09 Sampling Waste and Soils for Volatile Organic Compounds de 2009.⁵
- **Buena Práctica E.1. ALTERNATIVO y E.2 ALTERNATIVO:** modificación de la norma utilizada en E.1. y E.2.

E 1. Determinación del intervalo con más alta concentración de COVs y muestreo conforme norma técnica brasileña ABNT NBR 16434: Muestreo de residuos sólidos, suelos y sedimentos - compuestos orgánicos volátiles.

Para la realización del método se deben de seguir los siguientes pasos:

Abrir el liner en varios puntos con un taladro o perforador de mano. La distancia entre los puntos puede variar conforme el perfil geológico, visual o necesidad. Según la norma debe ser unos 4 cm.

Inmediatamente después de haber perforado el liner, se debe proceder a la medición con el PID en los huecos, cerrando a continuación lo huecos con cinta adhesiva. De esta manera se determina el punto o intervalo con más alta concentración de COVs y se preserva los COVs después de la medición.

E 2. Toma de una muestra individual del núcleo de perforación (liner)

Se realiza el muestreo en los puntos (intervalo del núcleo) considerados de más alta concentración de COVs con un dispositivo especial o con jeringuillas de plástico cortadas, inmediatamente después de la medición con PID para evitar pérdidas de volátiles durante la exposición.

Se pasa la muestra para un frasco de vidrio con sello hermético apropiado para transporte. El frasco puede contener también un solvente (por ej. metanol) o agua libre de COVs. Para detalles de preservación, transporte y extracción en campo ver las Normas arriba citadas.

E.1 ALTERNATIVO. Este método se puede utilizar sobre todo en la fase de muestreo exploratorio. En vez de medición de los volátiles con PID a través de huecos en el liner, se trabaja con una muestra recuperada del núcleo de perforación y envasado en una bolsa de plástico (ver etapa C: "Toma de muestra", donde se tomó 3 muestras para cada profundidad. Una de las muestras se tomó solo para la lectura con PID).

En suelos de granulometría gruesa y media (suelos arenosos, con grava, etc.) existe el riesgo que al momento de extraer la muestra del núcleo de perforación, ocurra una pérdida de COVs, y por lo tanto se recomienda hacer el manipuleo de la muestra lo más rápido posible. En suelos arcillosos este riesgo no es tan grande (vea capítulo A 3.3 de la Norma ABNT NBR 16434 y capítulo X3.3.1 de la Norma ASTM D 4547-09).

Para la realización del método se deben de seguir los siguientes pasos:

- Se desintegran los terrones en el saco cerrado en la muestra previamente recolectada especialmente para esta finalidad, nombrado de "muestra PID" con sello totalmente cerrado.
- Se desagrega el suelo de forma manual (sin necesidad de abrir el saco), agitar la muestra vigorosamente durante 15 segundos y mantenerla en reposo durante unos 10 minutos hasta la medición.
- En el momento de la medición registre la temperatura, agite la muestra de nuevo durante 15 segundos e inmediatamente realice la medición de los gases presentes en el saco, insertando el tubo del equipo de medición (sonda PID) a través de un pequeño hueco, evitando tocar al suelo o las paredes del recipiente.
- Se registra el mayor valor observado durante la medición (30 segundos).
Observación: Mediciones irregulares pueden ocurrir debido a las altas concentraciones de vapores orgánicos o alta humedad.
- Se prosigue con la medición con PID (detector de foto ionización) hasta que todo el aire salga del saco, se anotan los resultados.
- Después de la medición se anota el número de la muestra y la concentración de COVs (lectura PID) y descarta esta muestra PID.

Equipo: Utilice el equipo con el detector de fotoionización (PID) con una lámpara de 10,2 eV, o mayor, la oxidación catalítica o de ionización de llama (FID).

E.2. ALTERNATIVO: Obtener muestras para análisis químico de COVs, a continuación de la Buena Práctica E.1 .1. ALTERNATIVO.

Con el método E.1.1. ALTERNATIVO se obtienen muestras de suelo en sacos de plástico. Estas muestras no son aptas para el envío a un laboratorio para el análisis químico de COVs. A continuación se describe un método para la preparación de las muestras antes del transporte de las mismas al laboratorio:

Se recoge la muestra para el análisis de COVs directamente del liner.

Se pasa la muestra para un frasco de vidrio con sello hermético apropiado para transporte. Este frasco contiene 2 gramos de suelo en el que se adiciona 10 ml de solución acondicionadora dada.

Debe ser insertada compactada en el frasco de vidrio de manera que elimine eventuales volúmenes de aire.

El frasco puede contener también un solvente (por ejemplo, metanol) o agua libre de COVs. Para detalles de preservación, transporte y extracción en campo ver las normas arriba citadas.⁴

Observación: se seleccionan para análisis de laboratorio aquellas muestras que en base de la lectura anterior de PID en saco plástico (vea E1 ALTERNATIVO) corresponden a las de la más alta lectura de PID.

Cabe resaltar que por la manipulación de la muestra (extracción del núcleo de perforación, conservación de la muestra en el saco, etc.) existe el riesgo que ocurran pérdidas de contaminantes volátiles, sobre todo en suelos de granulometría gruesa y media (suelos arenosos, con grava, etc.). En suelos con matrices finas (suelos arcillosos, etc.), este efecto es de menor relevancia.

Estos efectos deben considerarse en la interpretación de los resultados de los análisis químicos obtenidos mediante este método.

⁴ Norma ABNT NBR 16434 y Norma ASTM D 4547-09, EPA 51

E.1. Determinación de COVs con PID



E.2. Toma de muestra individual



E.1. ALTERNATIVO: desintegración



E.1. ALTERNATIVO: medición con PID



E.2. ALTERNATIVO: muestra para laboratorio



F. Descarte de muestras no utilizadas y del corte de perforación

Las muestras no utilizadas y el corte de perforación se destinan como residuos especiales después de su clasificación conforme las normas vigentes de clasificación de residuos sólidos.

F. Descarte del corte de perforación



