

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL  
UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA DE BIOTECNOLOGÍA

---

**ELABORACIÓN DE UN SISTEMA DE CALIDAD PARA EL  
PROCESO DE REMEDIACIÓN BIOLÓGICA "CHUEN" EN  
SUELOS CONTAMINADOS CON HIDROCARBUROS  
FRACCIONES LIGERA Y MEDIA.**

TESINA

PRESENTA:  
**EFRAÍN SÁNCHEZ CARLOS**

México, D. F. Mayo 2009

## INDICE

<b><u>CAPÍTULO 1</u></b> .....	<b>1</b>
1.1 <i>INTRODUCCIÓN</i> .....	1
1.2 <i>OBJETIVOS</i> .....	5
1.3 <i>JUSTIFICACIÓN</i> .....	5
<b><u>CAPÍTULO 2</u></b> .....	<b>7</b>
2.1 <i>ANTECEDENTES</i> .....	7
2.2 <i>GESTIÓN DE CALIDAD</i> .....	8
<b><u>CAPÍTULO 3</u></b> .....	<b>10</b>
3.1 <i>METODOLOGÍA DEL PROCESO DE REMEDIACIÓN BIOLÓGICA</i> .....	10
DESCRIPCIÓN.....	10
INSTALACIÓN .....	10
OPERACIÓN .....	13
3.2 <i>PLANEACIÓN</i> .....	14
DIAGRAMA DE MEJORA CONTINÚA. ....	14
CRITERIOS DE CALIDAD PARA EL PROCESO DE REMEDIACIÓN DE SUELOS .....	15
CAUSAS DE VARIABILIDAD EN EL PROCESO .....	16
3.3 <i>HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS EN LA CALIDAD</i> .....	17
DIAGRAMA DE CAUSA-EFECTO.....	17
HOJAS DE VERIFICACIÓN .....	19
DIAGRAMA DE PARETO .....	19
ESTRATIFICACIÓN .....	21
3.4 <i>RESULTADOS EXPERIMENTALES DEL PROCESO</i> .....	21
RESULTADOS OBTENIDOS EN LA REMEDIACIÓN DE SUELO CONTAMINADO.....	21
3.5 <i>CALIDAD EN LA ORGANIZACIÓN</i> .....	26
ESTRUCTURA PARTICULAR DE LA EMPRESA .....	27
<b><u>CAPÍTULO 4</u></b> .....	<b>30</b>
<i>CONCLUSIONES</i> .....	30
<b><u>CAPÍTULO 5</u></b> .....	<b>31</b>
<i>BIBLIOGRAFÍA</i> .....	31

## **INDICE DE TABLAS**

TABLA 1. LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA FRACCIONES DE HIDROCARBUROS EN SUELO (NOM-138-SEMARNAT/SS-2003).....	4
TABLA 2. NORMAS PARA VERIFICAR LA CALIDAD DURANTE EL PROCESO .....	9
TABLA 3. PRINCIPIO DE LAS 4H.....	15
TABLA 4. PRINCIPIO DE LAS 6W .....	15
TABLA 5. PRINCIPIO DE LAS 7M .....	15
TABLA 6. DATOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL DIAGRAMA DE PARETO. ....	20
TABLA 7. RESULTADOS OBTENIDOS DEL MUESTREO DE LAS ZONAS X1 Y X2. ....	22
TABLA 8. RESULTADOS OBTENIDOS DEL MUESTREO DE LA ZONA X3.....	23
TABLA 9. RESULTADOS OBTENIDOS DEL MUESTREO DE LAS ZONAS X4 Y X5. ....	23

## **INDICE DE FIGURAS**

FIGURA 1. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROCESO DE REMEDIACIÓN BIOLÓGICA "CHUEN" EN SUELOS CONTAMINADOS CON HIDROCARBUROS FRACCIONES LIGERA Y MEDIA. ....	10
FIGURA 2. ESQUEMA DE POZOS PARA EL TRATAMIENTO DE SUELO.....	11
FIGURA 3. DIAGRAMA DE LOS SISTEMAS DE INYECCIÓN DE AIRE A PRESIÓN PARA LA REMEDIACIÓN DE SUELO CONTAMINADO POR HIDROCARBUROS. ....	12
FIGURA 4. DIAGRAMA DE DEMING PARA LA MEJORA EL PROCESO DE REMEDIACIÓN BIOLÓGICA. ....	14
FIGURA 5. VARIABILIDAD EN EL PROCESO DE REMEDIACIÓN DE SUELOS.....	16
FIGURA 6. DIAGRAMA DE CAUSA Y EFECTO PARA EL PROCESO DE REMEDIACIÓN BIOLÓGICA "CHUEN" EN SUELOS CONTAMINADOS CON HIDROCARBUROS.....	18
FIGURA 7. DIAGRAMA DE PARETO .....	20
FIGURA 8. ESTRATIFICACIÓN PARA EL REPROCESO DE REMEDIACIÓN BIOLÓGICA .....	21
FIGURA 9. DISTRIBUCIÓN DE LAS ZONAS DE MUESTREO EN UN PREDIO DE 35 POR 35 METROS. ....	22
FIGURA 10. RESULTADOS DE CONCENTRACIÓN DE HTPS EN LAS CINCO ZONAS DE MUESTREO DURANTE EL PROCESO DE REMEDIACIÓN. ....	24
FIGURA 11. RESULTADOS DEL % DE HUMEDAD EN LAS CINCO ZONAS DE MUESTREO DURANTE EL PROCESO DE REMEDIACIÓN. ....	25
FIGURA 12. RESULTADOS DE PH OBTENIDO EN LAS CINCO ZONAS DE MUESTREO DURANTE EL PROCESO DE REMEDIACIÓN. ....	25
FIGURA 13. CONTROL MICROBIOLÓGICO DE LAS CINCO ZONAS DE MUESTREO DURANTE EL PROCESO DE REMEDIACIÓN. ....	26
FIGURA 14. ORGANIGRAMA DE LA EMPRESA. ....	27

# **CAPÍTULO 1**

## **1.1 INTRODUCCIÓN**

Es inevitable que las actividades antropogénicas emitan contaminantes, los cuales son asimilados por el suelo, el aire, los cuerpos de agua y la biosfera. En respuesta, la investigación científica y tecnológica ayudan a entender los problemas ambientales y permiten diseñar acciones preventivas y correctivas para contrarrestar los efectos negativos provocados por las actividades humanas sobre el medio ambiente.

Una de las causas de contaminación que ha tenido gran relevancia son los derrames de hidrocarburos, que por las sustancias que involucran, pueden poner en peligro los lugares donde se producen, la integridad de los ecosistemas, así como la preservación de los recursos naturales. Aún más, cuando un derrame de hidrocarburos permanece sin ser atendido puede causar daños constantes y crecientes al suelo, a otros recursos naturales e inevitablemente al hombre. El suelo representa un ecosistema donde se puede encontrar una gran variedad de compuestos tóxicos entre los que se encuentran los hidrocarburos derivados de las actividades petroleras.

La generación, distribución y los derrames accidentales de hidrocarburos han ocasionado el deterioro del ambiente acumulándose directa o indirectamente en suelos. En términos generales, se puede decir que la velocidad de acumulación es mayor a la capacidad que tiene el planeta para remover estos compuestos. De aquí surge el interés por colaborar con la naturaleza para revertir el efecto de los contaminantes en el suelo (Miya, 2001).

Uno de los conceptos que requiere atención especial es la remediación biológica, que se refiere a la transformación química de los contaminantes mediante el uso de microorganismos que se adicionan a los ambientes contaminados para acelerar el proceso natural de biodegradación (Senan y Abraham, 2004).

El uso de tecnologías de remediación biológica para el tratamiento de sitios contaminados presenta varias ventajas respecto a los métodos fisicoquímicos tradicionales (Ewels, et al., 1998) bajos costos de instalación y operación, es una tecnología simple y de fácil aplicación, es un tratamiento seguro con un mínimo de riesgos a la salud y es tecnológicamente efectivo.

Entre las técnicas de remediación biológica más comunes se encuentra la bioaumentación, que consiste en la adición de microorganismos vivos que tienen la capacidad de degradar el contaminante en cuestión y así promover su biodegradación o biotransformación (Von Fahnestock, 1998).

La introducción de una nueva cepa de microorganismos que ha dado resultados viables en la remediación biológica es la CEPA "CHUEN", un activador enzimático-bacteriano que presenta, entre otras ventajas, la de no ser patógeno. Es un producto patentado y la fórmula está catalogada como "Secreto Comercial" en el sentido adjudicado por la Sesión 25173 del Código de Seguridad e Higiene del Estado de California en Los Estados Unidos de Norteamérica. La utilización de CEPA "CHUEN" en la remediación de una variedad de contaminantes de hidrocarburos de petróleo en suelos, se ha llevado a cabo de manera satisfactoria en diferentes proyectos de remediación. Al final del periodo de tratamiento de áreas contaminadas donde se usó la Tecnología, CEPA "CHUEN", el suelo presenta una consistencia y condición natural de alta calidad con niveles de contaminación muy bajos, que la hacen ser utilizable para cualquier propósito de manera segura.

### **La Contaminación De Suelo En México**

Actualmente, la mayor fuente de contaminación del suelo en México son los hidrocarburos (Saval, 2007). México es un país eminentemente petrolero, lo que hace que gran proporción de los suelos estén contaminados por el petróleo y sus derivados, como la gasolina y el diesel, entre otros. Las estadísticas de las emergencias ambientales muestran que el setenta y cinco por ciento de la contaminación del suelo proviene de los hidrocarburos. Curiosamente, Veracruz y Tabasco, que son las zonas más petroleras, muestran el mayor índice de contaminación.

Hoy en día la contaminación del suelo por petróleo se da en cualquier sitio en donde se utilice este líquido, como por ejemplo en la exploración, explotación, refinación, transporte, almacenamiento e inclusive donde se ubican las gasolineras, sin menoscabo de las actividades industriales donde puede haber derrames de los mismos.

Los principales casos de contaminación de suelo por hidrocarburos a nivel nacional se deben a problemas de operación y accidentes en los ductos. En tanto que a nivel particular ocurre por accidentes en la operación de las instalaciones fabriles. Por tanto, la contaminación del suelo es un tema que se debe tomar muy en serio ya que vivimos y construimos sobre él, así que se debe tener muy presente que si se contamina el suelo, esa contaminación llegará directamente al hombre, dañándolo.

### **Marco Regulatorio**

La falta de especificaciones ambientales para la restauración de suelos contaminados por derrames de hidrocarburos constituye uno de los principales factores de incertidumbre sobre la efectividad de los resultados de la remediación.

Ante la situación descrita, de acuerdo con la regulación ambiental, los predios contaminados con hidrocarburos deben remediarse hasta obtener una concentración menor a los Límites Máximos Permisibles (LMP) vigentes, toda vez que el entonces Programa Nacional de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2001-2006, tenía como primer objetivo: detener y revertir la contaminación de los recursos naturales, agua, aire y suelo, con el propósito de garantizar su conservación para las generaciones futuras.

### ***Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos***

La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) publicó la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (Ley) publicada en el Diario Oficial de la Federación (DOF), esta establece en su artículo 16 que “la clasificación de un residuo como peligroso se establecerá en las normas oficiales mexicanas que especifiquen la forma de determinar sus características, que incluyan los listados de los mismos y fijen los límites de concentración de las sustancias contenidas en ellos, con base en los conocimientos científicos y las evidencias acerca de su peligrosidad y riesgo”. El artículo 42 de la citada ley dice que “La responsabilidad del manejo y disposición final de los residuos peligrosos corresponde a quien los genera”.

En el Capítulo V de la Ley, manifiesta la obligatoriedad de “Los propietarios o poseedores de predios de dominio privado y los titulares de áreas concesionadas, cuyos suelos se encuentren contaminados, serán responsables solidarios de llevar a cabo las acciones de remediación que resulten necesarias”, en su artículo 70.

### ***Reglamento de la Ley***

El 3 de Noviembre de 2006, fue publicado en el DOF el Reglamento de la Ley, el cual abrogó al entonces Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de Residuos Peligrosos. En el Título Sexto del nuevo reglamento, regula la Remediación de Sitios Contaminados, bajo las siguientes premisas del artículo 130: “Cuando [...] se produzcan derrames, infiltraciones, descargas o vertidos de materiales peligrosos o residuos peligrosos, en cantidad mayor a [1 m<sup>3</sup>], durante cualquiera de las operaciones que comprende su manejo integral, el responsable del material peligroso o el generador del residuo peligroso y, en su caso, la empresa que preste el servicio deberá:

- I. Ejecutar medidas inmediatas para contener los materiales o residuos liberados, minimizar o limitar su dispersión o recogerlos y realizar la limpieza del sitio;

- II. Avisar de inmediato a la Procuraduría y a las autoridades competentes, que ocurrió el derrame, infiltración, descarga o vertido de materiales peligrosos o residuos peligrosos;
- III. Ejecutar las medidas que les hubieren impuesto las autoridades competentes conforme a lo previsto en el artículo 72 de la Ley, y
- IV. En su caso, iniciar los trabajos de caracterización del sitio contaminado y realizar las acciones de remediación correspondientes.

El artículo 132 menciona que “Se considera pasivo ambiental a aquellos sitios contaminados por la liberación de materiales o residuos peligrosos, que no fueron remediados oportunamente para impedir la dispersión de contaminantes, pero que implican una obligación de remediación.”

**Norma Oficial Mexicana**

El 20 de agosto de 2002 se publicó en el DOF, la Norma Oficial Mexicana de Emergencia: LMP de contaminación en suelos por hidrocarburos, caracterización del sitio y procedimientos para la remediación, la cual fue prorrogada por seis meses más, el 20 de febrero de 2003.

Asimismo, con el propósito de dar certidumbre en las acciones de caracterización y remediación a los causantes de la contaminación, se publicó a finales del mes de marzo de 2005 la Norma Oficial Mexicana NOM-138-SEMARNAT/SS-2003, que establece los límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y las especificaciones para su caracterización y remediación.

En esta norma de cumplimiento obligatorio, se establecen los LMP para cada fracción de hidrocarburos, la cual se reproduce en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Límites máximos permisibles para fracciones de hidrocarburos en suelo (NOM-138-SEMARNAT/SS-2003).

FRACCION DE HIDROCARBUROS	Uso de suelo predominante <sup>1</sup> (mg/kg base seca)		
	Agrícola <sup>2</sup>	Residencial <sup>3</sup>	Industrial
Ligera	200	200	500
Media	1,200	1,200	5,000
Pesada	3,000	3,000	6,000

El numeral 4.6 de la NOM-138-SEMARNAT/SS-2003 define como hidrocarburos de fracción ligera a la Mezcla de hidrocarburos cuyas moléculas contengan cadenas lineales entre cinco y diez átomos de carbono (C5 a C10) y el numeral 4.7 a los Hidrocarburos de fracción media como la mezcla de hidrocarburos cuyas moléculas contengan cadenas

lineales entre diez y veintiocho átomos de carbono (C10 a C28). El numeral 8 describe las especificaciones ambientales para la remediación.

### ***Cumplimiento***

La Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA), tiene dentro de sus atribuciones, vigilar y evaluar el cumplimiento de las disposiciones jurídicas aplicables a la prevención y control de la contaminación ambiental, a la restauración de los recursos naturales, de acuerdo con el decreto del DOF del 4 de Junio de 1992.

## **1.2 OBJETIVOS**

### ***Objetivo General***

- Documentar un control de calidad de los distintos procesos en la remediación biológica "chuen" de suelos contaminados con hidrocarburos fracciones ligera y media para cumplir con los límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos establecidos en la NOM-138-SEMARNAT-2003.

### ***Objetivos Particulares***

- Aplicar los conceptos y métodos estadísticos en el proceso de remediación biológica "chuen" en suelos contaminados.
- Aplicar los conocimientos obtenidos del estudio de la familia de normas ISO.
- Aplicar las herramientas para implementar la mejora continua en el proceso de remediación biológica "chuen" en suelos contaminados.

## **1.3 JUSTIFICACIÓN**

El suelo es un cuerpo natural que conforma el hábitat de bacterias, hongos, levaduras, virus y plantas superiores entre otros que sirven para la alimentación de los animales y del hombre a través de los ciclos tróficos. El suelo y los microorganismos mantienen los sistemas ecológicos ya que aportan componentes químicos y minerales como resultado de la biodegradación y complejos orgánicos como los ácidos húmicos y fúlvicos, enzimas, vitaminas, hormonas y antibióticos, además alberga una rica reserva genética.

Por la importancia que representa el suelo para la vida en el planeta este recurso se debe conservar.

Sin embargo, en la actualidad la práctica inadecuada o mal aplicada de sistemas de producción han acelerado los procesos de erosión y desertificación de grandes zonas de suelo. Así mismo la industrialización y urbanización han provocado la incorporación de desechos al suelo.



Por lo anterior es necesario el estudio de las características particulares del suelo para determinar su grado de contaminación y aplicar consecuentemente la técnica de remediación biológica "chuen" en suelos contaminados con hidrocarburos de las fracciones ligera y media, así como documentar un sistema de calidad que permita optimizar el proceso y llevar a la mejora continua para obtener excelentes resultados.

## **CAPÍTULO 2**

### **2.1 ANTECEDENTES**

La biotecnología, entendida como un conjunto de innovaciones tecnológicas basadas en la utilización de procesos biológicos para la obtención de bienes y servicios, ha sido también aprovechada para la limpieza del medio ambiente. Como parte de la Biotecnología existe la remediación biológica, la cual es una técnica que puede utilizarse como auxiliar en la descontaminación de suelos y que emplea procesos naturales para eliminar las sustancias químicas perjudiciales para el medio ambiente

La remediación biológica por cepa “Chuen” es una técnica innovadora que se ha desarrollado en las décadas de los 80 y 90, la cual ha sido aplicada exitosamente y es considerada como el tratamiento más efectivo para la remediación de suelos contaminados.

En México se han realizado diversos estudios sobre remediación de suelos contaminados; algunos están enfocados en áreas específicas de remediación biológica, y otros en los que sólo se reportan las metodologías de remediación. Existen pocos trabajos relacionados específicamente con remediación biológica por cepa “Chuen” y no se ha encontrado evidencia documentada que se haya realizado la elaboración de un sistema de calidad para este proceso a pesar de la importancia que tiene.

Petróleos Mexicanos (PEMEX) durante el 2001, reportó que 8,031 toneladas de productos de los HC (petróleo crudo, diesel y gasolina), fueron derramados en suelos. Además, de acuerdo con datos publicados por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), la superficie de suelo degradado por causas de contaminación en 1999 fue de 25, 967 km<sup>2</sup>. Según estadísticas de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA), cada año se presentan en México un promedio de 550 emergencias ambientales asociadas con materiales y residuos peligrosos, entre los que se encuentran el petróleo y sus derivados.

Por lo anterior, la importancia de documentar la elaboración de un sistema de calidad para el proceso de remediación biológica “chuen” en suelos contaminados con hidrocarburos fracciones ligera y media.

La presente tesina esta enfocada a establecer un sistema de calidad en el proceso de remediación biológica con cepa “CHUEN” en suelos contaminados por hidrocarburos fracciones ligera y media en una empresa remediadora prestadora del servicio, teniendo como base los fundamentos de los sistemas de gestión de calidad en las organizaciones.

Como referencia para desarrollar dicho sistema de gestión de calidad se utilizó el modelo ISO 9000:2000 e ISO 9001:2000, normas que han tenido el mayor beneplácito por parte de las organizaciones que se plantean y desarrollan políticas de calidad.

El contenido de la tesina tiene como soporte 5 capítulos, de las cuales los dos primeros son de introducción y los restantes se refieren a la aplicación de las normas ISO. En este apartado se abordan los conceptos y los sistemas de calidad de la organización, en el capítulo tres se describe la metodología del proceso de remediación biológica, se aplican las herramientas estadísticas estudiadas y se abordan los resultados experimentales una vez aplicados los conocimientos obtenidos con dichas herramientas. Los capítulos cuatro y cinco contienen lo referente a conclusiones y bibliografía. También se presenta, en los anexos 3 y 4, la documentación realizada para el establecimiento del sistema de calidad del proceso, tales como Estudio de Mercado y el Manual de Calidad.

La empresa remediadora, como organización que ofrece el servicio de remediación biológica por cepa "Chuen" en suelos contaminados por hidrocarburos fracciones ligera y media, depende de los clientes, por lo que se busca comprender sus necesidades actuales y futuras, satisfacer los requisitos que piden y esforzarse por exceder sus expectativas. Por tal razón, es éste proceso al cual se está realizando el sistema de calidad.

Es de gran importancia recordar que la calidad total se asienta sobre tres pilares: cultura de calidad, sistemas y recursos humanos y utilización de la estadística. Si falta uno de estos tres pilares es difícil o imposible introducir la gestión de la calidad total.

Dicha cultura empieza por reconocer que la calidad está definida por las necesidades y expectativas del cliente y los servicios ofrecidos deben cumplir siempre las especificaciones de éste. Es mediante este supuesto que se pueden captar nuevos usuarios y ampliar la cuota de mercado de la organización, en este caso, de la empresa remediadora.

## **2.2 GESTIÓN DE CALIDAD**

La empresa remediadora, como organización que ofrece el servicio "Remediación biológica "chuen" en suelos contaminados con hidrocarburos fracciones ligera y media", busca desarrollar, establecer e implantar un sistema de calidad para establecer un control y aseguramiento adecuado sobre el proceso operacional que afecta la calidad del

servicio, enfatizando las acciones preventivas que eviten la ocurrencia de problemas, cumpliendo así con las políticas y objetivos establecidos.

Los componentes del sistema de calidad son: Diseño y desarrollo, Compras, Operaciones de producción y de prestación del servicio, Medición, Análisis y Mejora, Control de las no conformidades.

En Diseño y desarrollo se elaboró un Procedimiento de aseguramiento de la calidad presentado en el Anexo 1 para la validación en el proceso de producción.

Además se elaboraron hojas de verificación y listados de materiales y reactivos. Estos documentos se presentan en el Anexo 2.

El proceso para diseñar el servicio "Remediación biológica "chuen" en suelos contaminados con hidrocarburos fracciones ligera y media" esta basado en definir las especificaciones del servicio para su prestación y control, los medios y métodos utilizados y la especificación del control de calidad.

Finalmente, como base para el cumplimiento de todos los requerimientos de calidad, se consultó y aplico la normatividad correspondiente.

La lista de normas y su identificación, para verificar la calidad durante el proceso se presenta en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Normas para verificar la calidad durante el proceso

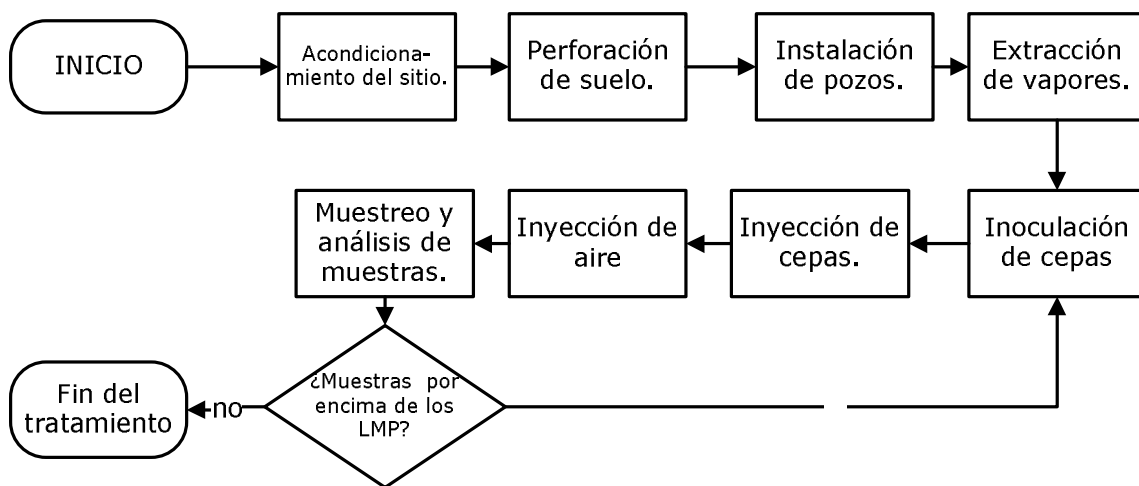
NORMAS	IDENTIFICACIÓN
NMX-CC-9000-INMC-2000 ISO-9000:2000	Sistemas de gestión de la calidad-Principios y vocabulario
NMX-CC-9001-INMC-2000 ISO-9001:2000	Sistemas de gestión de la calidad-Requisitos
NMX-CC-9004-INMC-2000 ISO-9004:2000	Sistemas de gestión de la calidad-Directrices para la mejora de desempeño
NMX-CC-006/2:1995 ISO-9004-2:1991	Administración de la calidad y elementos del sistema de calidad. Parte 2: Directrices para servicios
NMX-CC-018:1995-INMC ISO-10013:1995	Directrices para desarrollar manuales de calidad
NMX-CC-010:1992 EN-4501	Criterios generales para los organismos de certificación de producto
NMX-Z-109:1992 ISO/IEC Guía 2	Términos generales y sus definiciones referentes a la normalización y actividades conexas

## CAPÍTULO 3

### 3.1 METODOLOGÍA DEL PROCESO DE REMEDIACIÓN BIOLÓGICA

El Procedimiento de remediación biológica "chuen" establece la instalación del sistema de remediación, la puesta en marcha y operación continúa del mismo así como determinar las evaluaciones de avance que demuestren el sentido de los trabajos de forma favorable al cumplimiento ambiental.

Se presenta el diagrama de flujo en bloques para el proceso (Figura 1) describiendo posteriormente de forma detallada la metodología.



**Figura 1.** Diagrama de bloques del proceso de remediación biológica "chuen" en suelos contaminados con hidrocarburos fracciones ligera y media.

#### **Descripción**

El primer paso es el acondicionamiento del sitio con actividades de limpieza mediante corte de maleza y vegetación, si existe.

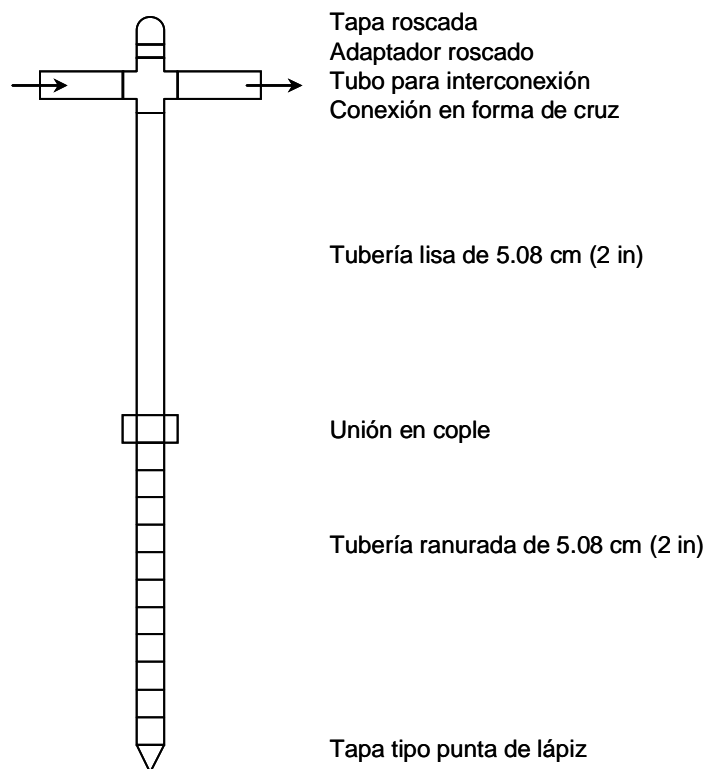
#### **Instalación**

Perforación: Instalación de pozos de inyección y extracción. Se instalarán pozos con los cuales se cubrirá el área total de la pluma contaminante.

#### **Hincado de tubería**

Se instala un tramo de tubo de PVC ranurado con un tapón del tipo "punta de lápiz" fabricado en material plástico denominado Nylamid® y se une mediante un cople a un tubo liso de PVC; a este se le pega una conexión en forma de T o de Cruz, dependiendo si se trata de pozos intermedios o finales a cada línea de tratamiento, según corresponda.

Posteriormente, se utiliza un adaptador roscado que se une con una tapa, igualmente roscada. Las conexiones en forma de T ó Cruz se interconectan con tramos de tubo, cuantos sean necesarios, para conectarse con todos los pozos construidos. Todos los tubos y accesorios de PVC tienen las mismas especificaciones: cédula 40 y diámetro nominal de 5.08 cm (2 in) y se adhieren mediante pegamento-cemento para PVC (Figura 2).



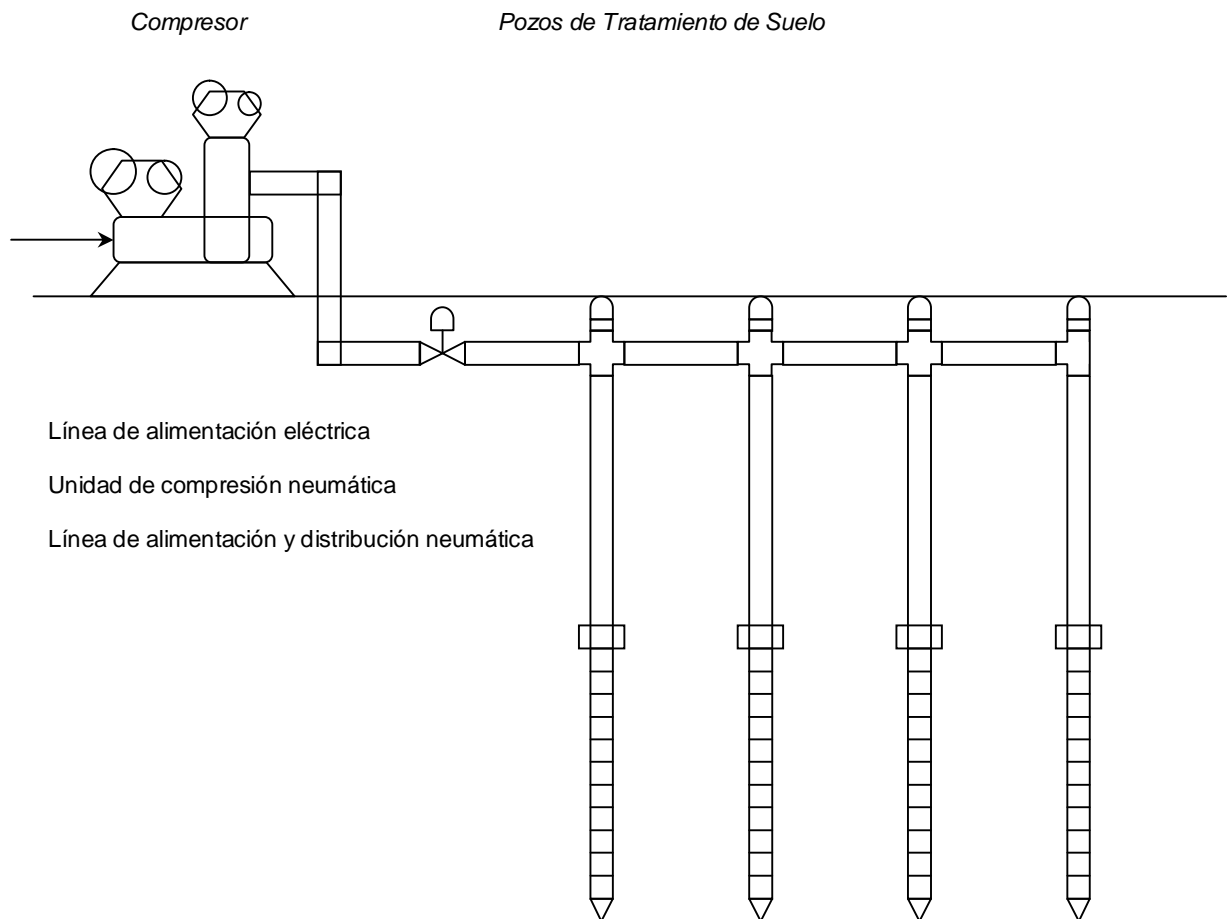
**Figura 2.** Esquema de Pozos para el Tratamiento de Suelo.

Los pozos de tratamiento, al contar con una tapa roscada en la parte superior, permiten el acceso al pozo para verificar la posible aparición de agua subterránea en caso de ocurrir, pero principalmente, son el conducto para vaciar los preparados bacteriológicos (cepa Chuen) encargados de la biorremediación del suelo contaminado con hidrocarburos de fracción ligera y media.

La instalación del sistema de interconexión para la inyección de aire, se hace de forma subterránea respecto al nivel de piso, suelo natural o la estructura activa para no afectar el desarrollo de las operaciones que se dan de manera ininterrumpida. La profundidad a la que se entierra la tubería es función de la pluma de contaminación, oscilando entre 20 y 40 cm por debajo de los niveles indicados.

Los compresores instalados, para la generación del aire comprimido, son tipo rotativo de desplazamiento positivo (roots) de doble impulsor, que consiste en 2 tornillos helicoidales (lóbulos) acoplados y montados en ejes paralelos en una unidad de trabajo para una misma etapa de compresión, es decir, el aire es llevado de un lado a otro sin que el volumen sea modificado. En el lado de impulsión, la estanqueidad se asegura mediante los bordes de los émbolos rotativos. Los sistemas están equipados con trampa de humedad y tanque de acumulación; para cada compresor.

El volumen comprimido por ambos compresores, es desplazado al sistema de inyección de aire. Este aire permite des-compactar el subsuelo en partes críticas y que en sus intersticios se abran paso las bacterias para el proceso de bioremediación. En la Figura 3 se muestra un esquema general de la interconexión de los pozos de tratamiento.



**Figura 3.** Diagrama de los sistemas de inyección de aire a presión para la remediación de suelo contaminado por hidrocarburos.

El proceso de bioremediación se lleva a cabo mediante la adición del preparado microbiológico liofilizado en agua y su posterior inoculación en todos y cada uno de los pozos de remediación de suelo, con el preparado biológico-enzimático. La periodicidad con la que se inocula el suelo es de una a dos semanas, dependiendo del control de unidades formadoras de colonias cuantificadas durante la remediación.

Se interconectarán dos redes paralelas, una para inyección de aire y la otra para la extracción de vapores, cada pozo contará con una válvula de paso en cada línea para poder cambiar el proceso según sea necesario.

Las interconexiones tienen el fin de conducir el aire a los pozos para hacer la aspersión y la bioventilación en la parte media de la pluma y la extracción de vapores en los pozos situados en los límites de la zona a tratar intentando provocar una circulación de aire en la zona semisaturada, además cuentan con las válvulas para poder independizar el pozo y ponerlo fuera del tratamiento cuando así lo requiera.

## **Operación**

### ***1ra fase: Extracción de vapores***

El sistema contribuye de diversas formas al saneamiento del subsuelo, la principal es extraer los compuestos orgánicos volátiles y semivolátiles por medio de los pozos instalados y una bomba de vacío.

La extracción de vapores también contribuye a la oxigenación del subsuelo ya que al inducir vacío en los pozos se desplazan los vapores y se provoca la circulación de aire.

Los microorganismos capaces de degradar el hidrocarburo pueden ser de dos tipos aerobios y anaerobios. El flujo de aire provocado en el subsuelo contribuye al crecimiento de microorganismos aerobios y así ayuda a degradar los hidrocarburos contenidos en el subsuelo.

Los vapores extraídos del sistema son llevados a un filtro primario el cual contendrá carbón activado.

### ***2da fase: Proceso de inyección de cepas***

En un contenedor plástico se colocan las cepas chuen, se le adiciona agua potable transportada en pipa y se realiza un mezclado uniforme para favorecer el crecimiento bacteriano, una vez que se ha efectuado el proceso de crecimiento de cepas, estas se encuentran en condiciones de ser inyectadas al suelo.

La inyección de cepas bacterianas se realiza a través de los pozos de inyección previamente instalados una vez que se han extraído los vapores.



### **Muestreo y análisis de muestras**

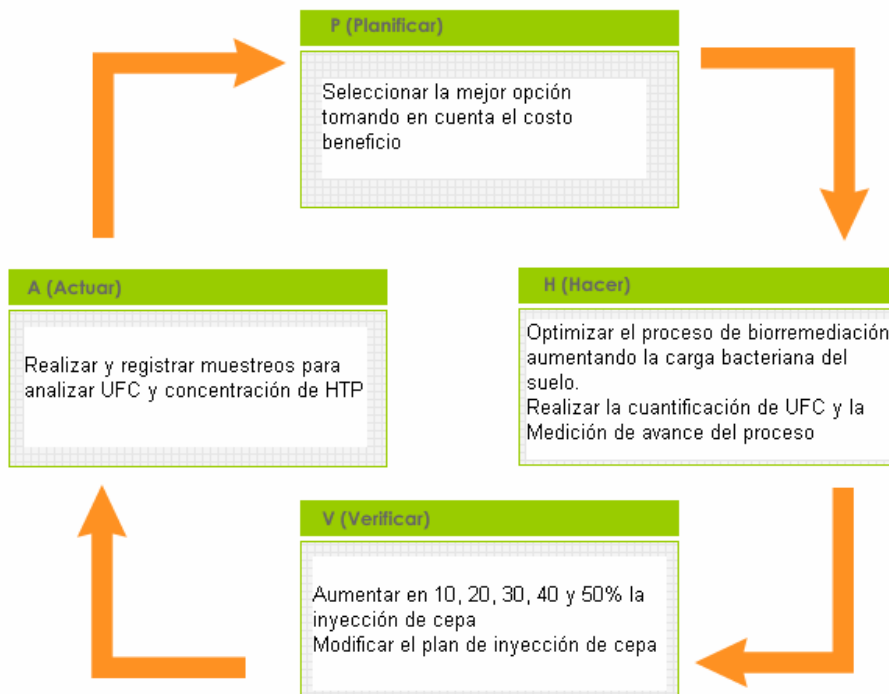
Durante la operación del sistema se tomaran muestras de suelo para su posterior análisis en el laboratorio el cual deberá estar acreditado ante la Entidad Mexicana de Acreditación (EMA). El número de muestras se determina según el tamaño de la zona impactada. A las muestras que sean tomadas se les determinarán las concentraciones de los compuestos marcados en la NOM-138-SEMARNAT-2003.

### **3.2 PLANEACIÓN**

La planificación se enfoca en la definición de los procesos necesarios para la realización del producto y cumplir eficaz y eficientemente los objetivos considerando las habilidades y conocimientos que deben tener los miembros de la organización, la responsabilidad para la implementación de los métodos analíticos y procedimientos, los recursos financieros y de infraestructura necesarios y las necesidades de mejora en los métodos.

#### **Diagrama de mejora continúa.**

Para ello usamos el diagrama de Deming (Figura 4), este ciclo es útil para la mejora del proceso.



**Figura 4.** Diagrama de Deming para la mejora el proceso de remediación biológica.

### Criterios de calidad para el proceso de remediación de suelos

Con el propósito de establecer marcadamente los criterios de calidad a los que se desea someter el proyecto, en las Tablas 3, 4 y 5 se delimitan las características de calidad a considerar en el trabajo a realizar.

**Tabla 3.** Principio de las 4H

Expresión anglosajona	Traducción	Respuesta
How	Cómo	Identificar las áreas contaminadas y determinar el mecanismo de ingeniería que permita establecer el sistema de remediación.
How much	Cuánto	La suma de los costos parciales se contempla al final, toda vez que Esta parte se determinará una vez analizados todo lo necesario para su implementación.
How often	Frecuencia	La operación del sistema de remediación se realizará diariamente, una vez que se encuentre instalado el sistema.
How long	Duración	Hasta cumplir con los LMP de la NOM

**Tabla 4.** Principio de las 6W

Expresión anglosajona	Traducción	Respuesta
What	Qué	Remediar el sitio contaminado con HFM.
What for	Para qué	Cumplir con la normatividad ambiental vigente
Why	Porqué	Se evita la dispersión de masa contaminante hacia fuera de los límites del predio.
Who	Quién	Empresa remediadora.
When	Cuándo	El tiempo establecido en el contrato inicial
Where	Dónde	En el sitio establecido en el contrato inicial.

**Tabla 5.** Principio de las 7M

Expresión anglosajona	Traducción	Respuesta
Men	Recursos Humanos	El equipo de trabajo consiste en 1 Jefe de Proyectos, 1 Coordinador de Protección Ambiental, 1 Ingeniero de Proyectos, 2 Supervisores de Obra y 10 Operadores.
Materials row	Lista de materiales	Equipo de protección personal (pantalón y camisola, guantes, zapatos de seguridad), Tubería lisa y ranurada de PVC y conexiones diversas del mismo material.
Machinery	Maquinaria	Compresores de aire.
Money	Dinero	No Disponible.
Metrology	Metrología	Las unidades de concentración identificadas en la NOM: masa de HFM (en mg) entre la masa de suelo (kg): mg/kg o ppm.
Method	Método	remediación biológica "chuen" de suelos contaminados con hidrocarburos fracciones ligera y media
Media	Instalaciones	En el predio del cliente.

Es importante, como primer paso, determinar cuáles son las causas de variabilidad en el proceso y conjuntamente con las bases teóricas, se procede a aplicar las técnicas estadísticas para el establecimiento del sistema de calidad en el proceso de remediación biológica.

### Causas de variabilidad en el proceso

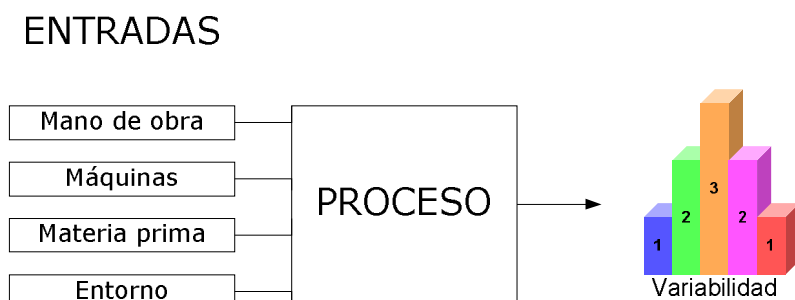
En la práctica de la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos existen siempre variaciones en las entradas de un proceso y en consecuencia existirán diferencias en las características del producto, es decir, del saneamiento del suelo, más aún en un proceso biológico, por lo que se deberá, en lo posible, evitar esta variabilidad.

Bajo supuestos muy generales, las pérdidas que un producto causa a la sociedad cuando se utiliza son directamente proporcionales a la variabilidad de la característica de calidad del producto en cuestión; por ello en general será cierto que:

Mejorar la calidad ↔ reducir la variabilidad

Así, la estrategia básica para la mejora de la calidad tiene como punto central la identificación de las causas que producen la variabilidad.

En la Figura 5, se definen las variaciones en la entrada del proceso que provocan variaciones entre las características del producto obtenido como salida del proceso.



**Figura 5.** Variabilidad en el proceso de remediación de suelos.

*Mano de obra:* Calificación de los empleados, los cuales deberán tomar los cursos y capacitación correspondientes a fin de evitar retrasos y malas prácticas de trabajo.

*Máquinas:* La maquinaria deberá contar con un plan de mantenimiento preventivo a fin de evitar en lo posible el mantenimiento correctivo que pueda causar retrasos en los trabajos. El plan de mantenimiento contempla la revisión del equipo al inicio y fin de cada proyecto y cada 2 meses de uso. La acción preventiva deberá tomarse como una acción emprendida para eliminar la causa de una potencial no conformidad.

*Materia prima:* La cepa chuen es la principal fuente de materia prima por lo tanto se cuidará exhaustivamente, será tratada como lo recomienda el proveedor verificando fechas de caducidad. La tubería deberá ser exclusivamente de las especificaciones de cada proyecto. Se utilizará “agua potable” para la inoculación de las cepas.

*Entorno:* Se tomarán en cuenta las condiciones propias de la geografía de cada proyecto.

Una vez definidas las causas de variabilidad del proceso, se aplican las herramientas estadísticas para tener conocimiento del comportamiento de dichas variables y visualizar los puntos críticos susceptibles de mejora para que el proceso de remediación biológica presente un desempeño óptimo.

### **3.3 HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS EN LA CALIDAD**

*La estadística es la disciplina especializada  
en convertir datos en información.  
Bill Hunter*

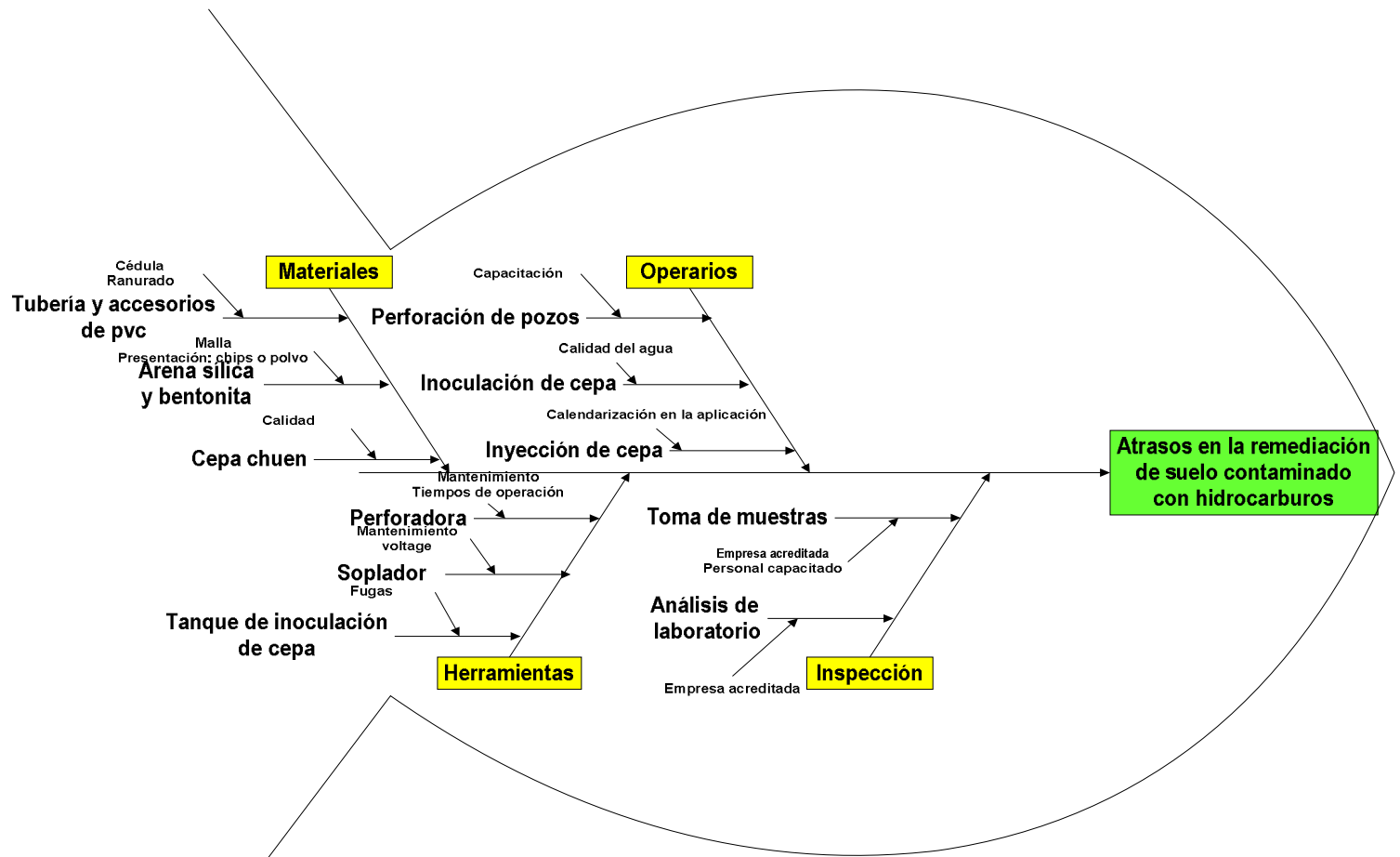
En este apartado se presentan los métodos estadísticos utilizados para el control de calidad del servicio de remediación biológica con cepa chuen en suelos contaminados con hidrocarburos de fracciones ligera y media. Estas herramientas estadísticas son importantes ya que, bien utilizadas permiten solucionar gran parte de los problemas de calidad.

#### **Diagrama de Causa-Efecto**

En ocasiones, cuando se presenta un problema, se confunde su resolución con la eliminación de los efectos que produce, lo que trae malas consecuencias. Para solucionar un problema deben estudiarse las causas que lo producen y eliminarlas, es decir, atacar las causas y no los efectos. Para hacerlo es conveniente construir el diagrama de causa y efecto.

El diagrama de causa y efecto es un instrumento eficaz para el análisis de las diferentes causas que ocasionan un problema en el proceso de remediación. Con él se identifican los principales motivadores del proceso y después, los problemas que pudieran presentarse durante el proceso en marcha. Además, permite visualizar las diferentes cadenas Causa y Efecto que puedan estar presentes en el problema y con ello facilitar los estudios posteriores de evaluación del grado de aporte de cada una de estas causas.

En el diagrama de Causa-Efecto (Figura 6), realizado para el proceso de remediación biológica “chuen” en suelos contaminados con hidrocarburos, las causas primarias identificadas son:



**Figura 6.** Diagrama de Causa y Efecto para el proceso de remediación biológica “chuen” en suelos contaminados con hidrocarburos

*Materiales:* Los materiales deberán ser de la más alta calidad a fin de evitar retrasos y deberán apegarse estrictamente a las especificaciones técnicas de cada proyecto.

*Operarios:* Los operarios se someterán a capacitación al inicio de cada proyecto y durante el transcurso del proceso en caso de modificaciones en el método o actualizaciones al mismo

*Herramientas:* Deberán estar en estado óptimo al inicio y al final de cada proyecto.

*Inspección:* La toma de muestras y análisis de laboratorio de las mismas deberá llevarse a cabo por un laboratorio acreditado por la Entidad Mexicana de Acreditación (EMA), verificando la vigencia de la acreditación. Todas y cada una de las verificaciones por parte del laboratorio acreditado por la EMA deberá generar un documento de rastreabilidad de la toma de muestra, traslado y análisis.

Es importante mencionar que el diagrama causa-efecto podría cambiar a medida que se adquieren nuevos conocimientos sobre el proceso estudiado. Algunas causas desaparecerían porque se han logrado eliminar, o bien, porque se ha constatado que no influyen. Pero, cuando una causa deja de ser considerada, debe tacharse y no borrarse para dejar constancia de que ya se ha estudiado. Por otro lado, pueden también aparecer nuevas causas potenciales que no se habían considerado. Lo anterior como parte de la mejora continua dentro del proceso estudiado.

### **Hojas de verificación**

Se elaboraron hojas de verificación para coleccionar datos.

La recolección de datos se efectúa de manera cuidadosa y exacta en las hojas diseñadas para cada caso. Con la finalidad de facilitar las tareas en la recopilación de la información, evitar errores realizar el análisis rápido de los datos.

En la hoja de verificación 1 se controlan las variables físicas del proceso tales como temperatura, pH, porcentaje de humedad, etc.

En la hoja de verificación 2 se lleva un control en el plan de muestreo.

Estas hojas se presentan en el Anexo 2.

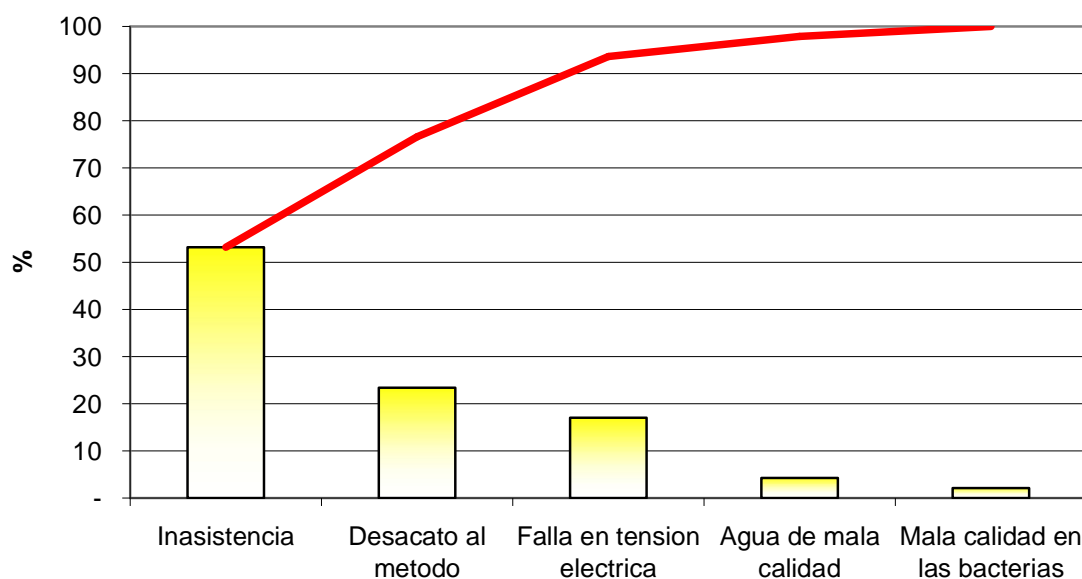
### **Diagrama de Pareto**

Se analizan y numeran las causas que generan fallas en el proceso, la información obtenida se resume en la Tabla 6.

**Tabla 6.** Datos para la construcción del diagrama de Pareto.

CAUSAS	lunes	martes	miércoles	jueves	viernes	total	%	suma %
Inasistencia	5	5	5	5	5	25	53.19	53.19
Desacato al método	2	3	4	1	1	11	23.40	76.60
Falla en tensión eléctrica	1	1	1	2	3	8	17.02	93.62
Agua de mala calidad	1	0	0	1	0	2	4.26	97.87
Mala calidad en las bacterias	1	0	0	0	0	1	2.13	100.00
						47	100	

La información que contienen estos datos se manifiestan de forma más clara construyendo el diagrama de Pareto que se presenta en la Figura 7.



**Figura 7.** Diagrama de Pareto

En el diagrama de Pareto observamos que sólo son unas pocas las causas responsables en su mayor parte. Las principales causas de error en el proceso son la inasistencia y el desacato al método que conforman casi el 80% de las fallas que generan retraso en la remediación biológica de suelo contaminado con hidrocarburos.

Estas causas fundamentales serán las primeras en ser analizadas y aplicar medidas para su eliminación o mejora. Para lo cual se proponen algunas acciones: Incentivos, premios de puntualidad, contar con operadores auxiliares para sustituir algún faltante, establecer

por escrito un rol de actividades, capacitación continua, mayor vigilancia en el proceso, entre otras.

### Estratificación

Se analizó la información obtenida y se clasificó con base en sus orígenes de acuerdo a operadores individuales por Zonas, maquinaria (soplador) y defectos.

a) Defectos en todo el predio

Tipo de defecto	Frecuencia
Gasto excesivo de luz	2
Mantenimiento correctivo	1
Radio de influencia.	3

b) Defectos por zona

Defectos en todo el predio	Tipo de defecto mas frecuente
Zona 1	Radio de influencia
Zona 2	Mantenimiento correctivo
Zona 3	Gasto excesivo de luz

c) Defectos por soplador en la zona 1

Soplador	Tipo de defecto mas frecuente
1	Radio de influencia.
2	Gasto excesivo de luz
3	Mantenimiento correctivo

Figura 8. Estratificación para el reproceso de remediación biológica

## 3.4 RESULTADOS EXPERIMENTALES DEL PROCESO

### Obtención de datos

Para el seguimiento del proceso de remediación de suelos se consideraron 4 factores o indicadores: el potencial de hidrógeno (pH), la humedad (%H), las unidades formadoras de colonias (UFC/cm<sup>3</sup>) y el más importante la concentración de hidrocarburos totales de petróleo (HTP's). Para ello se utiliza la Hoja de Verificación 1 presentada en el Anexo.

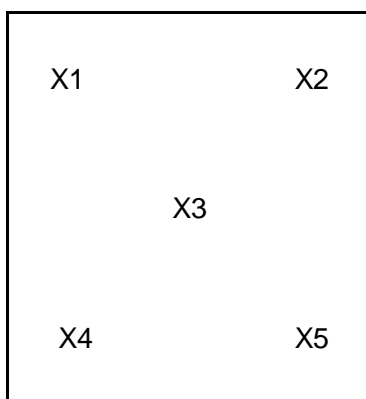
### Resultados obtenidos en la remediación de suelo contaminado

La parte experimental realizada para el proceso de remediación biológica "chuen" de suelos contaminados con hidrocarburos de fracción ligera y media consistió en remediar un predio de 0.1225 hectáreas (ha).

Se aplicó la estrategia de muestreo por métodos dirigidos y se establecieron cinco puntos de muestreo según lo estipulado en la NOM-138-SEMARNAT/SS-2003, (Tabla 4.-



Mínimos de puntos de muestreo de acuerdo con el área contaminada), dentro del predio, como se muestra en la Figura 9.



**Figura 9.** Distribución de las zonas de muestreo.

El uso de suelo del predio es industrial por lo que el límite máximo permisible de hidrocarburos es de 5000 mg/kg (NOM-138-SEMARNAT/SS-2003).

Una vez instalado el sistema de remediación, se realizaron muestreos cada semana durante cuatro meses, del 1 de septiembre de 2008 al 29 de diciembre del 2008, obteniendo datos de concentración de HTPs, % de humedad, pH y unidades formadoras de colonias para cada uno de los muestreos en las cinco zonas.

Se hicieron en total 14 evaluaciones de avance, siendo la primera de caracterización de sitio contaminado. Los resultados emitidos por el laboratorio acreditado ante la Entidad Mexicana de Acreditación, A.C. se presentan en las Tablas 7, 8 y 9.

**Tabla 7.** Resultados obtenidos del muestreo de las zonas X1 y X2.

Fecha de muestreo	Zona X1				Zona X2			
	[HTPs] (mg/kg)	Humedad (%)	pH	UFC	[HTPs] (mg/kg)	Humedad (%)	pH	UFC
01-sep-2008	80040	55	7.8	15	66036	60	7.3	12
08-sep-2008	75005	60	7.6	14	65089	55	7.2	15
15-sep-2008	73050	55	7.6	13	63056	40	7	12
22-sep-2008	72056	54	7.5	18	60129	64	6.8	16
29-sep-2008	70002	53	7.3	22	58289	52	7	18
06-oct-2008	68054	58	7.2	25	55122	39	7.8	25
13-oct-2008	66021	63	7.0	23	54008	43	7.6	24
20-oct-2008	65006	65	6.8	25	53045	62	7.6	28
27-oct-2008	64056	68	7.0	32	50345	60	7.5	35
03-nov-2008	60234	45	6.9	68	43023	55	6.9	48
10-nov-2008	50125	44	6.6	125	30011	64	6.6	100
17-nov-2008	40056	52	6.5	135	20189	46	6.5	128
24-nov-2008	30089	55	6.5	200	15045	42	6.5	210

01-dic-2008	20056	58	6.4	185	10066	38	6.4	211
08-dic-2008	10120	65	6.3	220	8121	60	6.3	364
15-dic-2008	6023	65	6.3	300	6009	55	6.3	410
22-dic-2008	5189	50	6.0	450	5012	65	6	506
29-dic-2008	3231	60	5.8	600	1850	50	5.8	640

**Tabla 8.** Resultados obtenidos del muestreo de la zona X3.

Fecha de muestreo	Zona X3			
	[HTPs] (mg/kg)	Humedad (%)	pH	UFC
01-sep-2008	252124	62	5.8	8
08-sep-2008	250456	65	6.3	18
15-sep-2008	240567	64	6.2	21
22-sep-2008	230234	60	6.4	24
29-sep-2008	200465	62	6.8	28
06-oct-2008	180344	61	7.2	35
13-oct-2008	160034	58	7.0	68
20-oct-2008	140230	55	7.3	66
27-oct-2008	130249	59	7.2	70
03-nov-2008	110034	62	7.0	73
10-nov-2008	90033	66	7.5	112
17-nov-2008	70450	65	7.3	142
24-nov-2008	50560	58	7.8	265
01-dic-2008	30006	54	7.6	268
08-dic-2008	25345	56	7.8	396
15-dic-2008	10034	50	7.7	400
22-dic-2008	5023	62	8.0	568
29-dic-2008	3201	64	7.8	601

**Tabla 9.** Resultados obtenidos del muestreo de las zonas X4 y X5.

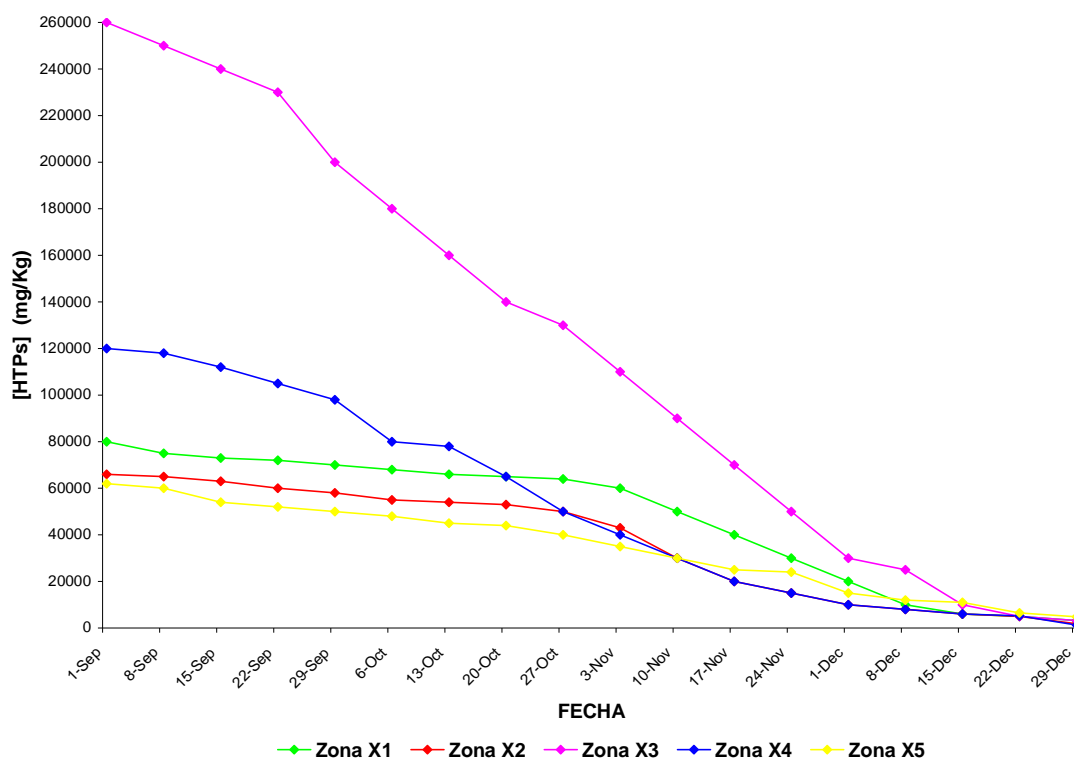
Fecha de muestreo	Zona X4				Zona X5			
	[HTPs] (mg/kg)	Humedad (%)	pH	UFC	[HTPs] (mg/kg)	Humedad (%)	pH	UFC
01-sep-2008	120000	52	6.0	9	62000	56	5.7	10
08-sep-2008	118000	45	5.4	16	60000	54	6.3	16
15-sep-2008	112000	45	5.3	18	54000	55	5.8	22
22-sep-2008	105000	65	5.8	25	52000	48	5.8	28
29-sep-2008	98000	58	6.0	29	50000	49	4.9	32
06-oct-2008	80000	43	6.2	32	48000	52	4.8	35
13-oct-2008	78000	58	6.1	58	45000	56	5.2	68
20-oct-2008	65000	56	6.3	62	44000	58	5.3	72
27-oct-2008	50000	42	6.2	70	40000	45	5.5	81
03-nov-2008	40000	50	5.8	72	35000	47	6.0	89
10-nov-2008	30000	65	5.9	120	30000	44	6.4	116
17-nov-2008	20000	48	6.5	138	25000	48	5.8	154
24-nov-2008	15000	52	6.7	250	24000	58	5.4	285

01-dic-2008	10000	39	7.0	264	15000	62	5.6	298
08-dic-2008	8000	40	7.2	398	12000	44	6.0	353
15-dic-2008	6000	53	7.3	440	11000	42	7.0	425
22-dic-2008	5200	67	7.3	563	6500	45	7	658
29-dic-2008	1300	55	7.4	710	4800	55	7.2	705

En el primer muestreo de caracterización de las zonas contaminadas se encontraron concentraciones de HTPs muy por arriba de los límites máximos permisibles en las cinco zonas del predio contaminado.

Se aplicó el proceso de remediación biológica “chuen” y ya en la evaluación 14, al concluir el proceso, las concentraciones de HTPs en el suelo tuvieron concentraciones menores a 5000 mg/kg para suelo industrial, lo estipulado por la NOM-138-SEMARNAT/SS-2003.

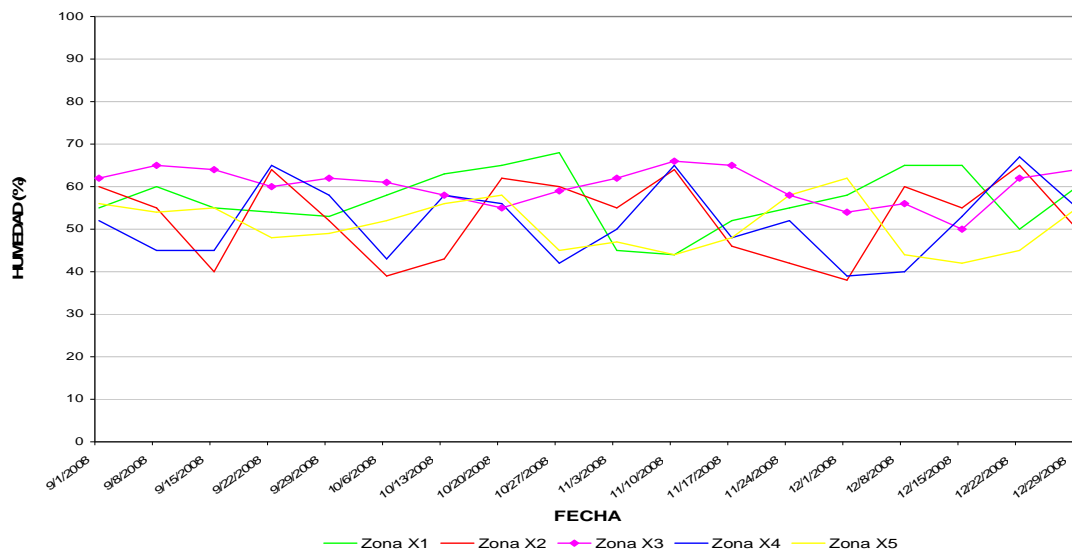
Los resultados pueden verse más claramente en la Figura 10.



**Figura 10.** Resultados de concentración de HTPs en las cinco zonas de muestreo durante el proceso de remediación.

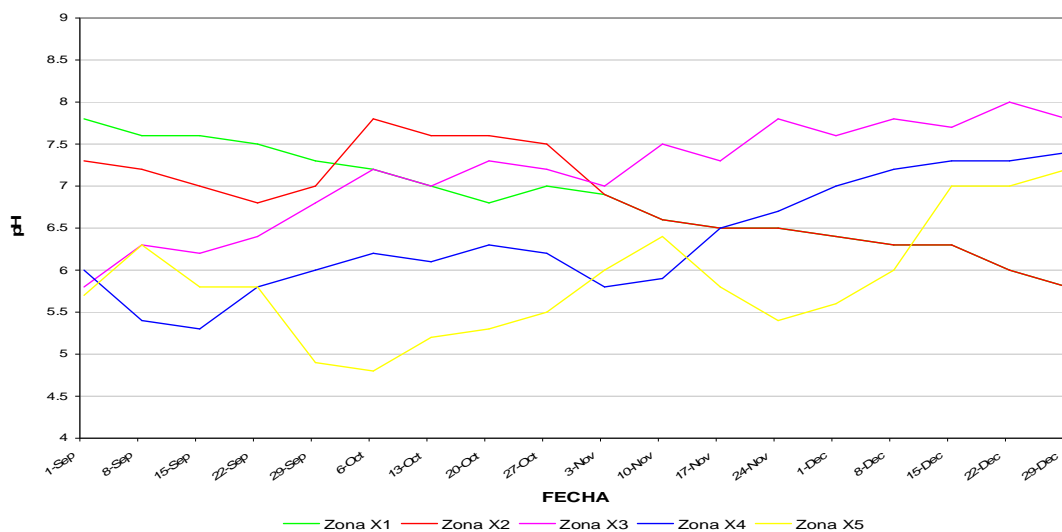
Otros parámetros que se inspeccionaron y analizaron a lo largo de todo el proceso de remediación fueron % de humedad y pH.

Es importante monitorear el % de humedad debido a que la concentración de hidrocarburos se reporta en mg/kg base seca, además, el intervalo óptimo en un proceso de remediación biológica es 40-85 %. (Figura 11).



**Figura 11.** Resultados del % de humedad en las cinco zonas de muestreo durante el proceso de remediación.

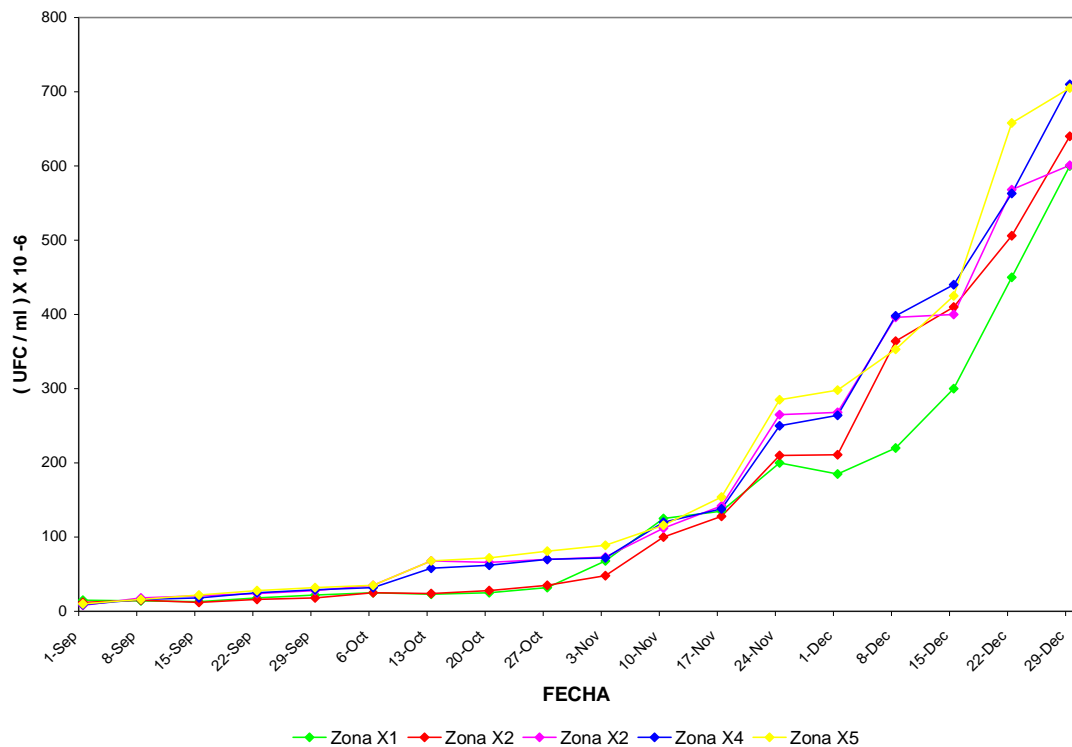
El pH se mantuvo en un intervalo de 5 a 8, como se observa en la Figura 12.



**Figura 12.** Resultados de pH obtenido en las cinco zonas de muestreo durante el proceso de remediación.

También se determinó la actividad microbiana durante el tiempo real del proceso de remediación biológica “chuen”, Figura 13.

Se observa un aumento significativo en la UFC al final del tratamiento de remediación, que concuerda con la disminución en la concentración de HTPs presentada en la figura 10, lo que indica que el suelo contaminado con hidrocarburos se ha remediado satisfactoriamente.



**Figura 13.** Control microbiológico de las cinco zonas de muestreo durante el proceso de remediación.

Por tanto, luego del trabajo realizado, se demuestra que la concentración de HTPs esta por debajo del LMP marcado en la NOM-138-SEMARNAT/SS-2003, recordando que el límite es 5000 mg/kg para suelo de uso industrial.

Es de suma importancia mencionar que este resultado es el producto de la aplicación de los conceptos y técnicas estadísticas de calidad enfocadas a la optimización y mejora continua.

Ahora, sólo falta la parte enfocada a la administración de la organización

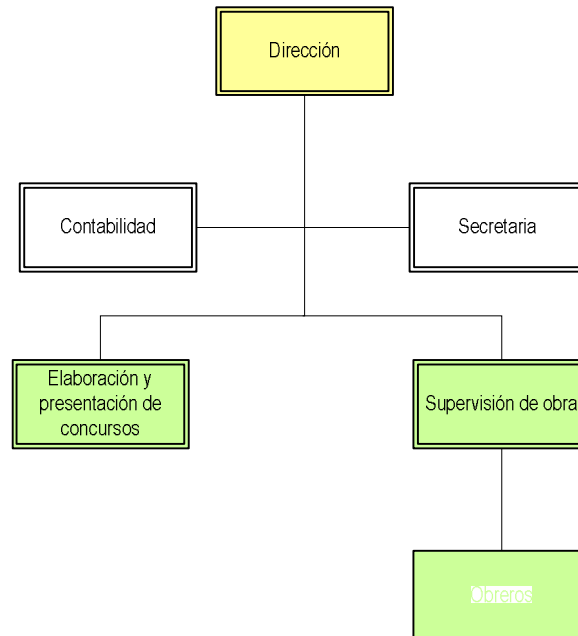
Es fundamental que la alta dirección se involucre en la cultura de calidad y aún más, que introduzcan esta cultura de calidad en la empresa incluyendo de forma participativa al personal que labora en ella. Ya que, de poco serviría querer solucionar los problemas de calidad mediante la introducción de círculos de calidad sin que ellos sepan utilizar tales herramientas de calidad.

### 3.5 CALIDAD EN LA ORGANIZACIÓN

Un sistema de calidad solamente puede asegurarse si existe una interacción armoniosa entre la responsabilidad de la dirección, el personal y los recursos materiales y la estructura del sistema de calidad.

### Estructura particular de la empresa

La empresa remediadora es una empresa autorizada como empresa prestadora de servicio para remediación de suelos contaminados con hidrocarburos. La manera en que está conformada se ilustra en la Figura 14.



**Figura 14.** Organigrama de la empresa.

### ***Responsabilidad de la dirección.***

Para mantener y aumentar la calidad del servicio y la satisfacción del cliente la dirección de la empresa remediadora debe establecer una visión, políticas y objetivos estratégicos coherentes para desarrollar, implementar y administrar el sistema de calidad.

Así, la alta dirección de la empresa remediadora tiene las siguientes funciones:

- Establecer y definir las metas de la organización
- Asignar los recursos en forma optima, ordenar y distribuir el trabajo.
- Liderar y motivar a cada uno de los miembros de la empresa
- Realizar las coordinaciones internas de las actividades y proyectos que llevara a cabo en las diferentes áreas.
- Elaborar contratos y presupuestos.

Basándose principalmente en:

1. La comprensión de las necesidades y expectativas y los mercados en los que se actúa.
2. El establecimiento de la mejora continua en los procesos para lograr eficaz y eficientemente los resultados deseados.
3. Revisión del desempeño actual de los productos y procesos.

Por otra parte, las funciones de los demás departamentos son:

*Contabilidad:* acciones propias para el correcto desarrollo administrativo y contable de la empresa.

*Secretaria:* Auxiliar las tareas de contabilidad, presupuestos y contratos.

*Departamento de elaboración y presentación de concursos:* Identificación de las oportunidades de concurso promovidos por las distintas instancias gubernamentales en función de la autorización de la Dirección General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas (DGGIMAR), creación de los documentos necesarios para concursar y la presentación formal ante la instancia correspondiente.

*Supervisión de obra:* Ejecutar los trabajos específicos comprometidos por la dirección ante las entidades gubernamentales en tiempo y forma.

*Obreros:* ejecución de los trabajos bajo las órdenes de la supervisión de obra.

### **Política de Calidad**

Para el establecimiento de la política de calidad la empresa remediadora consideró el grado deseado de satisfacción del cliente así como las necesidades y expectativas de otras partes interesadas, el desarrollo personal de los miembros de la organización y los recursos necesarios para el mejoramiento de la calidad y el logro de los objetivos.

**Misión:** Proveer los servicios ambientales integrales para el cumplimiento ambiental bajo la observancia de los lineamientos vigentes y mejorar continuamente los indicadores de gestión de calidad de nuestros clientes.

**Visión:** Ser la empresa líder en los servicios de remediación, gestión y aseguramiento de la calidad ambiental.

**Objetivos:** Generar oportunamente servicios y soluciones integrales innovadoras para la remediación de suelos contaminados, respaldados en la investigación, el desarrollo de tecnologías aplicadas, productos de alto contenido tecnológico y precios competitivos.

Operar con procesos de calidad y una cultura de mejora continua, que permitan generar soluciones integrales a través de una administración eficiente, al menor costo y con alto grado de productividad.

### **Administración de los Recursos**

Es de suma importancia asegurarse de disponer de los recursos necesarios para la realización del proceso. Estos recursos se componen de personas, infraestructura, ambiente de trabajo, proveedores y recursos financieros principalmente.

***Personal***

El recurso más importante en la empresa es el personal involucrado porque su conducta y desempeño se refleja directamente en la calidad del servicio otorgado. Debe promoverse un ambiente laboral que fomente la excelencia y relaciones de trabajo armoniosas y seguras.

***Recursos Materiales***

La empresa remediadora cuenta con la infraestructura necesaria para la realización del servicio “Remediación biológica “chuen” en suelos contaminados con hidrocarburos fracciones ligera y media”. Dicha infraestructura incluye espacio de trabajo, equipos y herramientas necesarias, tecnología de información y comunicación y transporte.



## **CAPÍTULO 4**

### **CONCLUSIONES**

La "Remediación biológica "chuen" en suelos contaminados con hidrocarburos fracciones ligera y media" es una alternativa viable al cumplir con los límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos establecidos en la NOM-138-SEMARNAT-2003.

Al aplicar los conceptos y métodos estadísticos en el proceso de remediación biológica "chuen" en suelos contaminados se obtuvo la siguiente información:

El uso de cepa "chuen" es efectivo en la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos debido a que el proceso es sencillo, tecnológicamente efectivo y de costos bajos en comparación con la mayoría de técnicas fisicoquímicas.

El punto de inflexión del proceso se da alrededor de los 2 primeros meses de aplicado el tratamiento.

El pH del suelo es fundamental para el desarrollo de las cepas "chuen".

La remediación biológica con cepas "chuen" es una tecnología viable, eficiente y útil para la limpieza de suelos contaminados

Se detectó que los problemas que causan retrasos en la remediación biológica "chuen" de suelos contaminados con hidrocarburos son la inasistencia y el desacato al método.

Se realizó el monitoreo y análisis rutinario del suelo contaminado durante el periodo de remediación biológica "chuen" con la finalidad de optimizar el proceso, esto para determinar el estado en el que se encuentra el proceso y ajustar cada parámetro hasta obtener las condiciones óptimas de operación.

En el marco del desarrollo sustentable, el proceso de remediación biológica "chuen" presenta importantes perspectivas para resolver muchos de los problemas de contaminación por hidrocarburos en México. Por ello, es necesario llevar a cabo con seriedad, responsabilidad y con un amplio conocimiento, la aplicación de esta tecnología para la biorremediación de sitios contaminados.

Finalmente, se concluye: si se desea mejorar la productividad y los costos, el único camino real es la mejora de la calidad.

## **CAPÍTULO 5**

### **BIBLIOGRAFÍA**

- Environmental Protection Agency. Development of Recommendations and Methods to Support Assessment of Soil Venting Performance and Closure. Estados Unidos de América. 2001.
- Estes, R.K., et al. Gas slippage and permeability measurements Estados Unidos de América. 1956.
- Ewels, J.B., Ergas, S.J. and Schroeder, E.D. (1998). Biorremediation principles. McGraw-Hill International Editions.
- Goltz, M.N., et al. An analytical solution to equations describing rate-limited soil vapor extraction of contaminants in the vadose zone, Water Resource. Res. Estados Unidos de América. 1994.
- Lagrega, M. (1996). Gestión de residuos tóxicos: tratamiento, y recuperación de suelos. Mc Graw Hill, México.
- Miya, K. (2001). Biorremediation and biodegradation. Journal Environ. Qual. 30, 1911-1918.
- Saval, S. Biorremediación de suelos y acuíferos. Situación actual y perspectivas en México. Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería, A.C. Vol. 3. p. 71-76. 2007.
- Senan, R. and Abraham, T. (2004). Biorremediation of soil by aerobic bacterial consortium. 4, 275-280.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. 2003.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Norma Oficial Mexicana NOM-138-SEMARNAT/SS-2003. Diario Oficial de la Federación, 29 de Marzo de 2005.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. 2006.
- Von Fahnestock, F., Godage, W.R. Biopile design, operation and maintenance for treating hydrocarbon-contaminated soils. Battelle Press Editions. 1998.