

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

ÁREA INTEGRADA



TRABAJO DE GRADUACIÓN

**EVALUACIÓN DE LA BIORREMEDIACIÓN DE UN ENTISOL CONTAMINADO CON
DIESEL, FINCA EL ESCOBAL, SAN RAFAEL LAS FLORES, SANTA ROSA;
DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS EN EL DEPARTAMENTO DE AMBIENTE MINERA SAN
RAFAEL S.A.**

POR

HÉCTOR ANDRÉS PÉREZ CASTAÑEDA

GUATEMALA, JULIO 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

ÁREA INTEGRADA

**EVALUACIÓN DE LA BIORREMEDIACIÓN DE UN ENTISOL CONTAMINADO CON
DIESEL, FINCA EL ESCOBAL, SAN RAFAEL LAS FLORES, SANTA ROSA,
DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS EN EL DEPARTAMENTO DE AMBIENTE MINERA SAN
RAFAEL S.A**

PRESENTADO A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE
AGRONOMÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

POR

Héctor Andrés Pérez Castañeda

EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO
INGENIERO AGRÓNOMO EN
SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA
EN EL GRADO ACADÉMICO DE

LICENCIADO

GUATEMALA, JULIO 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

RECTOR MAGNÍFICO
DR. CARLOS ESTUARDO GÁLVEZ BARRIOS

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

DECANO	Dr. Lauriano Figueroa Quiñonez
VOCAL PRIMERO	Dr. Ariel Abderramán Ortiz López
VOCAL SEGUNDO	Ing. Agr. MSc. Marino Barrientos García
VOCAL TERCERO	Ing. Agr. Erberto Raúl Alfaro Ortiz
VOCAL CUARTO	Br. For. Sindy Benita Simón Mendoza
VOCAL QUINTO	Br. Sergio Alexander Soto Estrada
SECRETARIO	Dr. Mynor Raúl Otzoy Rosales

GUATEMALA, JULIO 2014

Guatemala, Julio 2014

Honorable Junta Directiva
Honorable Tribunal Examinador
Facultad de Agronomía
Universidad de San Carlos de Guatemala

Honorables miembros:

De conformidad con las normas establecidas por la ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración, el trabajo de Graduación, "Evaluación de la biorremediación de un entisol contaminado con diesel, finca El Escobal, San Rafael Las Flores, Santa Rosa", diagnóstico y servicios en el departamento de ambiente minera San Rafael S.A., como requisito previo a optar al título de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola, en el grado académico de Licenciado.

Esperando que el mismo llene los requisitos necesarios para su aprobación, me es grato suscribirme,

Atentamente,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

HECTOR ANDRES PEREZ CASTAÑEDA

TRABAJO DE GRADUACIÓN QUE DEDICO

A Dios

Con todo mi corazón y agradecimiento tanto en esta meta alcanzada como a través de toda mi vida.

A mis padres

Por su cariño, consejos, ejemplo, sacrificios y ayuda incondicional en todo momento.

A mis hermanos

Por su aprecio, amistad, buenos deseos y ánimos para seguir adelante.

A mi familia

Por su apoyo incondicional.

A mis amigos y amigas

Con esa amistad que ha perdurado a través de los años y que sigue viva esa llama de cariño.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de San Carlos de Guatemala

Alma máter.

A la Facultad de Agronomía

Por ser mí segundo hogar en mi transformación académica, por darme una experiencia de vida inolvidable, por brindarme a tantos catedráticos que llevaré siempre en mi corazón, gracias por todo el conocimiento recibido.

A Minera San Rafael, S.A.

Por darme la oportunidad de realizar mi EPS y por todo el cariño y apoyo recibido por parte del departamento de Ambiente.

A mi Asesor

Ing. Agr. Iván Dimitri Santos, por su tiempo, consejos y asesoría para la culminación de este arduo trabajo.

A mi Supervisor

Ing. Agr. Ernesto Yac, por su ayuda y asesoría en todo este camino.

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	PÁGINA
CAPÍTULO I INFORME DE DIAGNÓSTICO	1
1.1 Presentación	3
1.2 Marco referencial	4
1.2.1 Localización de la empresa y departamento de Ambiente.....	4
1.2.2 Datos generales de la empresa y departamento de Ambiente	4
1.3 Objetivos	6
1.3.1 Objetivo general.....	6
1.3.2 Objetivos específicos	6
1.4 Metodología	7
1.4.1 Definición del sistema y estudio de sus variables o elementos	7
1.4.2 Interrelación de los elementos en cada sistema	7
1.4.3 Descripción de las actividades dentro del sistema.....	7
1.4.4 Determinación de él o los problemas dentro del sistema FODA.....	9
1.5 Resultados	10
1.5.1 Organización de la empresa y funciones de su personal.....	10
1.5.2 Análisis del departamento de Ambiente.....	11
1.5.3 Boleta de entrevista al personal departamento de ambiente	12
1.6 Conclusiones.....	15
1.7 Recomendaciones	15
1.8 Bibliografía	16
CAPÍTULO II 	17
2.1 PRESENTACIÓN.....	19
2.2 MARCO TEÓRICO	20

CONTENIDO	PÁGINA
2.2.1	Propiedades del suelo natural 20
2.2.2	Suelos contaminados 22
2.2.3	Gestión ambiental del sitio contaminado 23
2.2.4	Biodiversidad y su importancia en el suelo 23
2.2.5	El suelo como hábitat microbiano..... 25
2.2.6	Fijación de Nitrógeno 26
2.2.7	Biomasa microbiana..... 26
2.2.8	Suelos contaminados y microorganismos 27
2.2.9	Biorremediación 29
2.2.10	Hidrocarburos..... 31
2.2.11	Características de los hidrocarburos. 32
2.2.12	Antecedentes 36
2.3	MARCO REFERENCIAL 39
2.3.1	Ubicación geográfica del Proyecto “El Escobal” 39
2.3.2	Vías de acceso..... 39
2.3.3	Condiciones climáticas..... 39
2.3.4	Zonas de vida..... 39
2.3.5	Suelos 40
2.3.6	Descripción del material experimental..... 42
2.4	OBJETIVOS 43
2.4.1	Objetivo General 43
2.4.2	Objetivos específicos 43
2.5	HIPÓTESIS: 43
2.6	METODOLOGÍA..... 44
2.6.1	Manejo del experimento 44

CONTENIDO	PÁGINA
2.7 RESULTADOS	49
2.7.1 Caracterización del suelo sin alteración y suelo con hidrocarburos.....	49
2.7.2 Análisis Microbiológico Identificación de bacterias y biomasa microbiana.....	54
2.7.3 Análisis Respuesta Biológica del cultivo	55
2.7.4 Análisis Financiero	56
2.8 CONCLUSIONES	57
2.9 RECOMENDACIONES	58
2.10 BIBLIOGRAFÍAS	59
CAPÍTULO III SERVICIOS REALIZADOS	63
3.1 Presentación	65
3.2 Servicio I	66
3.2.1 Introducción	66
3.2.2 Objetivos	66
3.2.3 Metodología	67
3.2.4 Resultados.....	68
3.2.5 Evaluación del servicio	71
3.3 Servicio II	72
3.3.1 Introducción	72
3.3.2 Objetivos	72
3.3.3 Metodología	73
3.3.4 Resultados.....	73
3.3.5 Evaluación del servicio	79
3.4 Servicio III	80
3.4.1 Introducción	80
3.4.2 Objetivos.....	80

CONTENIDO	PÁGINA
3.4.3 Metodología.....	81
3.4.4 Resultados	81
3.4.5 Evaluación del servicio.....	97
3.5 Conclusiones	98
3.5.1 Bibliografía	99

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINA
Figuras 1. Organigrama del departamento de Ambiente.	10
Figuras 2. Horizontes del suelo.....	20
Figuras 3. Municipio San Rafael Las Flores, departamento de Santa Rosa, Guatemala.	41
Figuras 4. Efectos de la contaminación por hidrocarburos en las características químicas. .	51
Figuras 5. Variabilidad de pH en tratamientos evaluados	52
Figuras 6. Análisis Físico de la clase textural del suelo.	53
Figuras 7. Semillas con respuesta positiva de germinación en condiciones ideales.	56
Figuras 8. Mapa de áreas con cultivo de café.....	68
Figuras 9. Mapa con áreas de bosque.....	69
Figuras 10. Mapa delimitación perimetral área industrial	70
Figuras 11. Selección de frutos maduros (Pérez, 2012).	73
Figuras 12. Semillero y primer brote. (Pérez, 2012)	75
Figuras 13. Muestreo de suelos. (Pérez, 2012).	75
Figuras 14. Planta con floración en botón. (Pérez, 2012).	76
Figuras 15. Aplicación de fertilizante foliar. (Pérez, 2012).	76
Figuras 16. Proceso de deshijado en café. (Pérez, 2012).	77
Figuras 17. Desmalezado y deshijado. (Pérez, 2012).	77
Figuras 18. Planta con granos maduros de café. (Pérez, 2012)	78
Figuras 19. Aplicación de fertilizante foliar.....	78
Figuras 20. Aplicación de fertilizante en vivero. (Pérez, 2012)	82

FIGURA	PÁGINA
Figuras 21. Habilitación de terreno para plantación. (Pérez, 2012).....	83
Figuras 22. Preparación de suelo. (Pérez, 2012)	84
Figuras 23. Aplicación de insecticida al suelo. (Pérez, 2012).....	85
Figuras 24. Elaboración de cunetas. (Pérez, 2012).....	85
Figuras 25. Vista del vivero de ciprés. (Pérez, 2012)	86
Figuras 26. Pino trasplantado a campo definitivo. (Pérez, 2012)	87
Figuras 27. Personal de campo, aplicación de agroquímicos (Pérez, 2012).....	88
Figuras 28. Fertilización en vivero forestal (Pérez, 2012).....	88
Figuras 29. Control manual de malezas (Pérez, 2012).	90
Figuras 30. Riego directo a plantación (Pérez, 2012).....	90

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO	PÁGINA
Cuadro 1. Análisis FODA.....	11
Cuadro 2. Composición de bacterias en el suelo	26
Cuadro 3. Parámetros del compuesto químico, suelo y ambiente.....	36
Cuadro 4. Tratamientos a evaluar del compuesto de enzimas y bacterias.	46
Cuadro 5. Diagrama de distribución de tratamientos y repeticiones.....	47
Cuadro 6. Características a evaluar, variable y unidad de medida.....	48
Cuadro 7. Caracterización química y física del suelo.	49
Cuadro 8. Datos de nutrientes que presentaron datos altos.....	51
Cuadro 9. Cuadro comparativo de resultados microbiológicos en cada fase experimental....	54
Cuadro 10. Número de semillas germinadas en cada unidad experimental.....	55
Cuadro 11. Cuadro Costo/Beneficio.	56

TRABAJO DE GRADUACIÓN

EVALUACIÓN DE LA BIORREMEDIACIÓN DE UN ENTISOL CONTAMINADO CON DIESEL, FINCA EL ESCOBAL, SAN RAFAEL LAS FLORES, SANTA ROSA; DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS EN EL DEPARTAMENTO DE AMBIENTE MINERA SAN RAFAEL S.A.

RESUMEN EJECUTIVO

Minera San Rafael, S.A. es una empresa privada, formada en el 2009 que se dedica a la exploración y explotación de minerales. El departamento de Ambiente de Minera San Rafael es el responsable de velar internamente por que las personas de la empresa y empresas sub-contratadas cumplan con las normas nacionales e internacionales del tema ambiental.

La responsabilidad del cuidado, preservación del medio ambiente y de los recursos naturales forma parte de la filosofía central de la empresa, por lo que el departamento de ambiente realiza actividades tales como: Certificación (forestal, agrícola, entre otras); Manejo de los recursos naturales y medio ambiente.

En base a lo anterior, durante el período de febrero a noviembre 2012 (10 meses), se desarrolló el Ejercicio Profesional Supervisado (EPS) en esta empresa, en donde se elaboró un diagnóstico organizacional del funcionamiento empresarial, cuyo propósito fue determinar su problemática. En este caso no existía un programa de capacitaciones técnicas al personal de campo y poco personal administrativo. Se identificaron las oportunidades potenciales, tales como el crecimiento en conocimiento técnico del personal.

En lo que respecta a la investigación, se evaluó el proceso de biorremediación de un suelo contaminado con diesel en la finca El Escobal, San Rafael Las Flores, Santa Rosa; caracterizando física, química y biológicamente el suelo durante distintas fases del proceso. Teniendo como objetivo la evaluación de un producto elaborado a base de enzimas y

bacterias (OBT Oil degradation treatment) utilizando la metodología de biorremediación, el ensayo constó de cuatro tratamientos con cuatro repeticiones, en los cuales fueron utilizadas distintas dosis del producto biorremediante (0.15 kg, 0.35 kg, 0.7 kg, 0 kg). El ensayo presentó como resultado un incremento exponencial de distintos elementos minerales como Fósforo (P), Zinc (Zn) y Potasio (K) en todos los tratamientos y una germinación nula en cada unidad experimental. El incremento en la disponibilidad de estos nutrientes a grado de toxicidad es resultado del ingreso de hidrocarburos en el suelo ya que los valores de óxido-reducción se ven disminuidos, afectando también la respuesta biológica de germinación de semillas.

Como parte del Ejercicio Profesional Supervisado se llevaron a cabo los siguientes servicios: Generación de mapas del uso actual de tierras, en base a los Sistema de Información Geográfica (SIG) para ejecutar en distintos proyectos de Minera San Rafael, la elaboración de un plan de manejo de las áreas cultivadas con café dentro de la propiedad de la empresa y la elaboración de un plan de manejo forestal. Los documentos generados de los servicios durante el EPS, son de utilidad dentro de los programas de manejo forestal y agrícola del departamento de ambiente.

CAPÍTULO I INFORME DE DIAGNÓSTICO

DIAGNÓSTICO REALIZADO EN EL DEPARTAMENTO DE AMBIENTE, MINERA SAN RAFAEL; SAN RAFAEL LAS FLORES, SANTA ROSA.

1.1 Presentación

Como parte del programa de actividades a realizar en el ejercicio profesional supervisado de Agronomía (EPSA), de la Universidad de San Carlos de Guatemala, se contempló la realización de un diagnóstico al departamento de Ambiente de la empresa Minera San Rafael, S.A., lugar en el cual se desarrolla el EPS.

El departamento de Ambiente de la Minera San Rafael, se formó en enero del 2009 con la responsabilidad de velar internamente por que las personas de la empresa y empresas sub-contratadas cumplan con la normatividad nacional y las guías internacionales en materia ambiental, así como implementar y supervisar la ejecución de medidas de prevención y/o mitigación pertinentes según sean las necesidades.

El objetivo del diagnóstico realizado durante el mes de febrero y marzo 2012 en el departamento de ambiente, fue determinar la problemática existente, que en este caso en particular fue no contar con capacitaciones técnicas al personal de campo, la falta de un estudio sobre el uso actual de la tierra de la propiedad de la empresa, y la falta de personal administrativo.

Así pues, se identificaron las oportunidades potenciales tales como el crecimiento en conocimiento técnico del personal, lo cual llevará a un crecimiento paulatino como departamento.

1.2 Marco referencial

1.2.1 Localización de la empresa y departamento de Ambiente

El proyecto “El Escobal” está ubicado 2.5 kilómetros al este de la cabecera municipal del municipio San Rafael Las Flores. San Rafael Las Flores se sitúa en el suroriente de la República de Guatemala y se localiza en la latitud 14 28 30” y longitud 90 10 40”. Colinda al Norte y Oeste con Mataquescuintla (Jalapa), al Este con San Carlos Alzatate (Jalapa) y al sur con Casillas (Santa Rosa).

Las oficinas del departamento de Ambiente están ubicadas en la cabecera municipal de San Rafael Las Flores, Santa Rosa.

1.2.2 Datos generales de la empresa y departamento de Ambiente

El departamento de Ambiente es parte del Proyecto “El Escobal” el cual es propiedad de la empresa Minera San Rafael, S.A. Minera San Rafael, S.A. es una empresa formada en el año 2010 que se dedica a la exploración y explotación de minerales de interés económico. Actualmente cuenta con la aprobación de instrumentos ambientales ante el MARN.

A. Historia de la empresa y departamento de Ambiente

El 19 de septiembre del año 2008 la empresa Entre Mares de Guatemala (perteneciente a Goldcorp); después de determinar zonas de interés de exploración minera realizó y sometió ante el ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) un instrumento de evaluación ambiental llamado “Proyecto de exploración minera OASIS” el cual fue resuelto favorablemente. Se adquirieron obligaciones en varios aspectos y uno de ellos fue en el tema ambiental. A partir de ese momento, se vio la necesidad de contar en San Rafael Las Flores, con un Departamento que diera seguimiento e implementar acciones ambientales, para un buen desempeño de la exploración en superficie.

En enero del 2009, se integró el departamento de Ambiente, el cual sería responsable directo de este tema dentro del proyecto Escobal. El grupo de trabajo estaba conformado por un jefe y 5 personas operativas en campo, quienes realizaban acciones de mitigación, monitoreos

ambientales de aire y ruido de forma mensual, trimestrales de agua en ríos, quebradas y nacimientos de agua y monitoreos biológicos de flora y fauna.

En el año 2010 se da seguimiento al programa de exploración superficial y las actividades de mitigación ambiental de línea base necesaria. Conforme transcurrían los meses hubo varias visitas de campo al proyecto, por parte de personas representantes de empresas mineras interesadas en la compra de Escobal. A finales del 2010 se hace el anuncio interno, que el proyecto El Escobal pasaba a ser parte de la empresa canadiense Tahoe Resources y la transición para el desligamiento definitivo del campo operativo de Gold Corp (Entre Mares de Guatemala).

El equipo de trabajo del departamento de ambiente ha ido creciendo y actualmente está conformado por 16 personas, entre personal profesional (4) y personal operativo en campo (12).

B. Ideología central

El departamento de Ambiente, tiene la responsabilidad de velar internamente por que los trabajadores de la empresa y personas de empresas sub-contratadas cumplan con las normas nacionales e internacionales del tema ambiental, así como implementar y supervisar la ejecución de medidas de prevención y/o mitigación pertinentes según sean las necesidades.

C. Propósitos del departamento de Ambiente

- Ejecutar prácticas efectivas comprobadas que minimicen los impactos ambientales adversos.
- Educar a los empleados sobre las materias ambientales y promover su participación en minimizar dichos impactos.
- Conducir inspecciones regulares y comunicar las conclusiones a la gerencia para asegurar el cumplimiento de esta política.
- Promover esta política enfáticamente a nuestros empleados y contratistas.

D. Futuro visionario del departamento

- Tener los mejores estándares de aceptación ambiental a nivel nacional e internacional.

E. Visión

- Ser un departamento que se caracteriza por trabajar con calidad, integridad, ética profesional y responsabilidad ambiental, dentro y fuera de las instalaciones de la empresa.

F. Misión

- Cumplir y exceder en materia ambiental los estándares nacionales e internacionales.

1.3 Objetivos**1.3.1 Objetivo general**

- Conocer el estado actual del departamento de Ambiente del proyecto “El Escobal”, Minera San Rafael.

1.3.2 Objetivos específicos

- Conocer el organigrama y las funciones del personal del departamento.
- Determinar las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas del departamento de Ambiente.

1.4 Metodología

1.4.1 Definición del sistema y estudio de sus variables o elementos

El sistema a investigar fue el departamento de Ambiente de la empresa Minera San Rafael, S.A., y sus elementos todas aquellas personas que conforman el grupo de trabajo y que tienen relación directa o indirectamente con el sistema, partiendo de esto se prosiguió a obtener información tanto primaria como secundaria (Gómez, 2006).

1.4.2 Interrelación de los elementos en cada sistema

Luego de definir los elementos, se realizó un organigrama de la empresa donde se describió y analizó la importancia y relación existente en cada uno de los elementos definiendo al mismo tiempo su rol en el sistema (Gómez, 2006).

1.4.3 Descripción de las actividades dentro del sistema

Establecida la interacción de los elementos con el sistema se realizó una jerarquización estableciendo un organigrama. Además, se describen las actividades que se desarrollan en dicho sistema en base a la información proporcionada por los elementos utilizando para ello herramientas como entrevistas, análisis de información secundaria y observación directa (Gómez, 2006).

A. Actividades realizadas por el departamento

- Monitoreos ambientales (calidad de agua, calidad de aire, presión sonora). Análisis de base de datos ambientales. Elaboración de informes de carácter ambiental. Control de agua y afluentes.

El monitoreo ambiental es una herramienta importante en el proceso de evaluación Impacto Ambiental y en cualquier programa de seguimiento y control ambiental. Con el fin de que la actividad minera opere adecuadamente, es necesario crear un programa de monitoreo ambiental que permita mantener los diferentes impactos ambientales, producto de dicha operación, dentro de los rangos establecidos en la línea base y por

debajo de los máximos permisibles que marca la normatividad nacional y las guías internacionales en materia ambiental.

Los resultados obtenidos de estos monitoreos permiten establecer medidas preventivas y correctivas que sirven para que la operación minera se halle orientada por criterios donde los aspectos ambientales son prioritarios.

- Manejo de desechos:

En el manejo de residuos está considerada tanto la protección de la salud pública, criterios sanitarios, y los impactos al medio ambiente cumpliendo con los lineamientos legales y empresariales. Es por esto que el departamento de Ambiente realiza prácticas de control de residuos por medio de la recaudación de desechos 2 veces por semana, colocando dichos residuos en contenedores los cuales son vaciados por empresas externas semanalmente o cuando se considere necesario.

- Elaboración de mapas de información geográfica:

La tecnología de los Sistemas de Información Geográfica es utilizada para investigaciones científicas, gestión de los recursos, arqueología, evaluación del impacto ambiental, planificación urbana, cartografía, sociología, geografía histórica, etc. La elaboración de mapas es importante en este tipo de proyectos ya que nos permite hacer un análisis espacial de ciertas áreas a trabajar. El departamento de Ambiente utiliza mucho esta herramienta, el cual permite generar mapas de delimitación de áreas, mapas ambientales, mapas de ubicación de puntos geográficos, etc.

- Inspección de plataformas de exploración:

En los alrededores y dentro de la propiedad de la empresa Minera San Rafael, S.A. se localizan plataformas de perforación, las cuales están sujetas a inspecciones de cumplimiento ambiental con la finalidad de garantizar la protección ambiental y evitar potenciales impactos al medio. Con el objetivo de conocer las deficiencias y aciertos en los procedimientos dentro de la faena de perforación de núcleo y buscar proporcionar soluciones compatibles con el ambiente a los encargados de ello.

- Manejo de recursos naturales (forestales, agrícolas y biológicos):

El uso sustentable de los recursos naturales implica la extracción de los recursos sin exceder las capacidades de renovación de la naturaleza y un uso equitativo. El departamento de Ambiente cumple con los compromisos de manejo de los recursos naturales, realizando prácticas de reforestación las cuales son supervisadas por el Instituto Nacional de Bosques de Guatemala (INAB), y un manejo de las áreas que contienen cultivos agrícolas como el café.

1.4.4 Determinación de él o los problemas dentro del sistema FODA

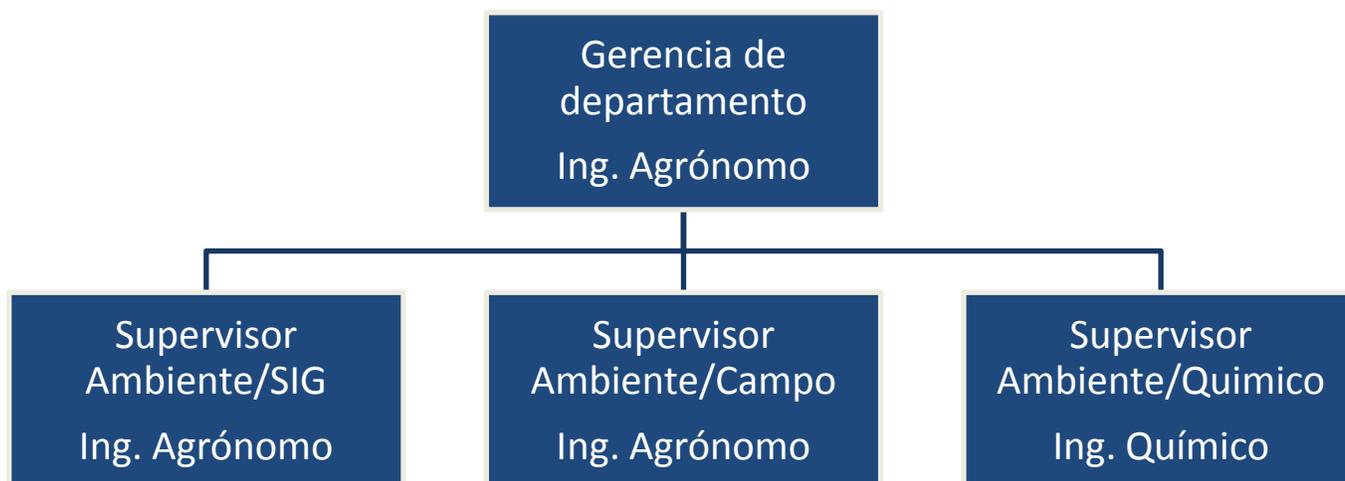
Ya establecidas y descritas las actividades que ejecuta la empresa junto con la información obtenida de las entrevistas y de la observación directa, se realizó un análisis FODA (Fortalezas-Oportunidades-Debilidades-Amenazas (Elías, 1996)) con la participación del personal de la empresa, donde se estableció la situación actual de la empresa dejando en evidencia su problemática (Gómez, 2006).

1.5 Resultados

1.5.1 Organización de la empresa y funciones de su personal

A. Organización

Por medio de información proporcionada por el personal que conforma el departamento de ambiente y utilizando para ello herramientas como entrevistas, análisis de información secundaria y observación directa, se obtuvo un organigrama el cual presenta la jerarquización, puestos y profesión del personal de trabajo.



Figuras 1. Organigrama del departamento de Ambiente.

B. Funciones del personal

A. Gerente del departamento

Tiene las funciones de programar, coordinar, supervisar, y evaluar todas las actividades que se realicen en el departamento; así como velar por el correcto cumplimiento de las normas y regulaciones administrativas establecidas por la empresa, por los distintos ministerios del estado y reportar a gerencia de operaciones periódicamente información del departamento.

B. Supervisor de Ambiente/SIG

Responsable de los análisis de sistemas de información geográfica, manejo de base de datos y supervisor de personal de campo.

C. Supervisor de Ambiente/campo

Sus funciones son las de coordinar, supervisar y ejecutar todos los trabajos de campo. Además, es responsable de la funcionalidad y eficiencia en la ejecución de las actividades realizadas por el personal de campo. Ej.: coordinar el personal en campo para la realización de prácticas de reforestación.

D. Supervisora Ambiente/Química

Encargada de efectuar monitoreos ambientales (agua, aire y suelo), análisis de base de datos e interpretación de resultados de informes presentado a entes reguladores (Ministerio de Energía y Minas MEM, Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales MARN, Instituto Nacional de Bosques INAB).

1.5.2 Análisis del departamento de Ambiente

El análisis se llevó a cabo por medio de la técnica FODA, la cual evalúa las Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas que existen dentro del departamento.

Cuadro 1. Análisis FODA.

FORTALEZAS	OPORTUNIDADES
<ul style="list-style-type: none"> • Buena coordinación del personal del departamento • Equipo de mediciones adecuado • Soporte económico • Personal profesional capacitado 	<ul style="list-style-type: none"> • Capacitación dentro del departamento • Crecimiento como departamento
DEBILIDADES	AMENAZAS
<ul style="list-style-type: none"> • Falta de personal técnico y administrativo • Falta de personal de campo • Ausencia de personal administrativo para tareas de apoyo logístico 	<ul style="list-style-type: none"> • Velar por el cumplimiento de las especificaciones dictadas por la ley en los proyectos elaborados y que estas sean cumplidas. • Brindar trabajos de calidad acordes a las exigencias de los entes reguladores

1.5.3 Boleta de entrevista al personal departamento de ambiente

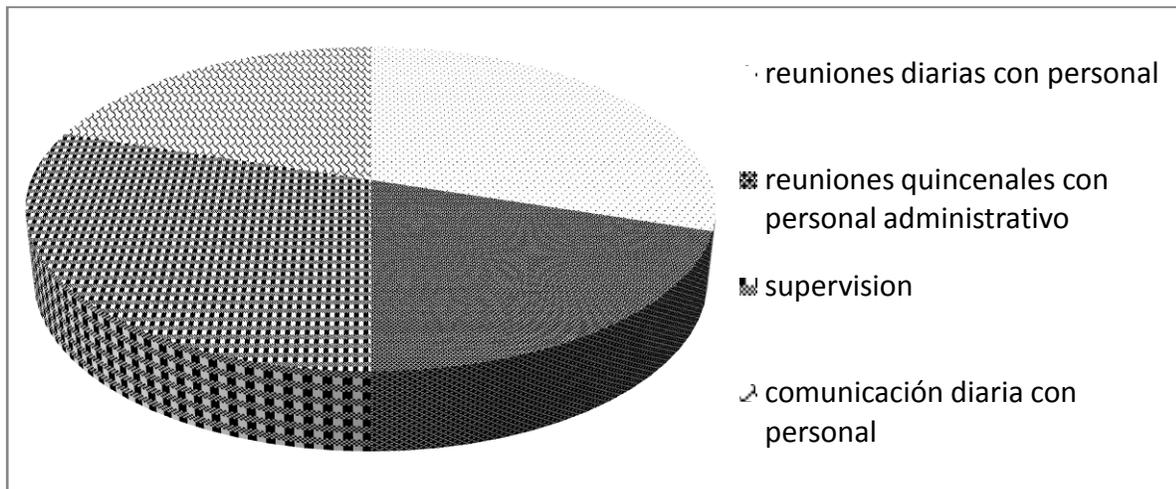
¿Tiene definidas sus funciones?



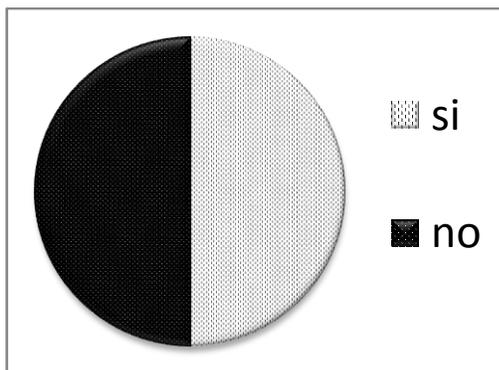
¿Existe coordinación en el trabajo con el personal del departamento de ambiente?



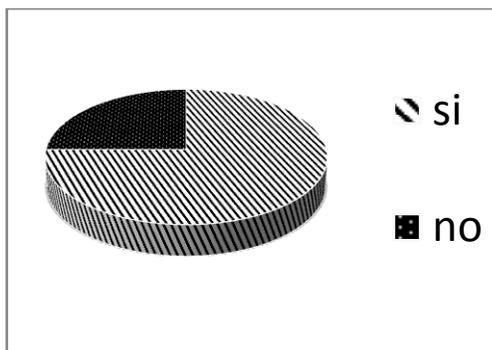
¿Qué coordinaciones realizan?



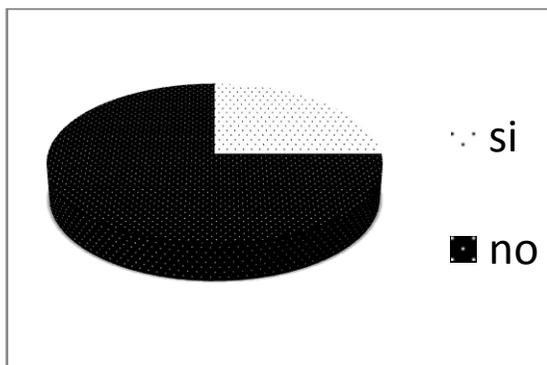
¿Cree usted que el personal técnico y administrativo del departamento es suficiente para realizar las actividades diarias y mensuales?



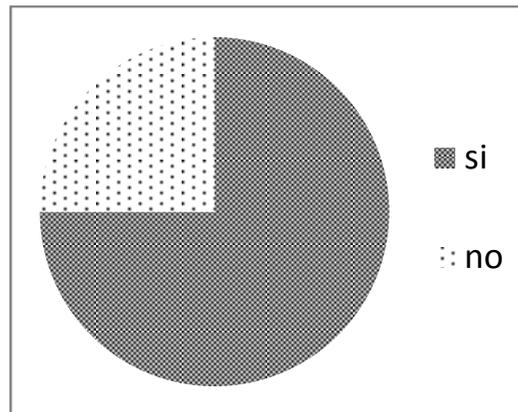
¿Considera que el departamento tiene el equipo necesario para hacer las mediciones y análisis correctos?



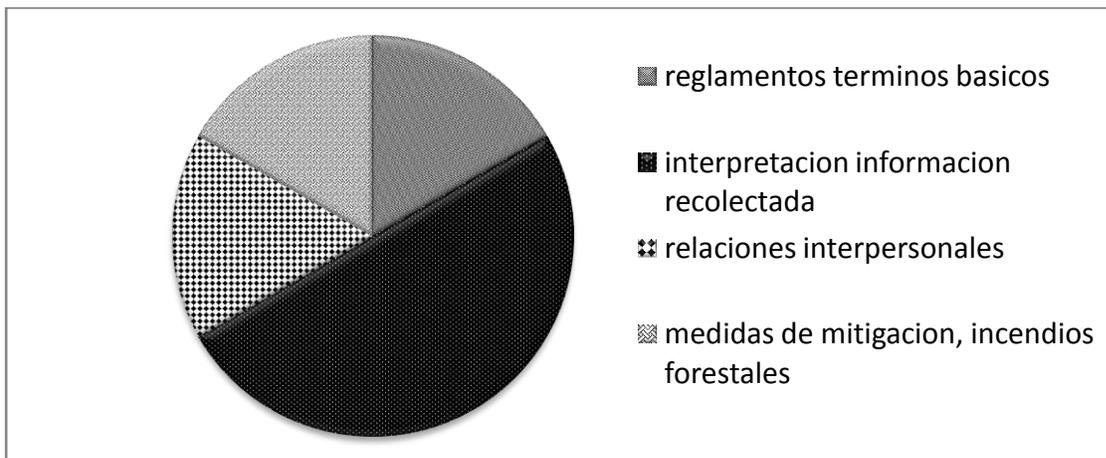
¿Considera usted que la cantidad de personal en campo es suficiente para realizar los trabajos diarios?



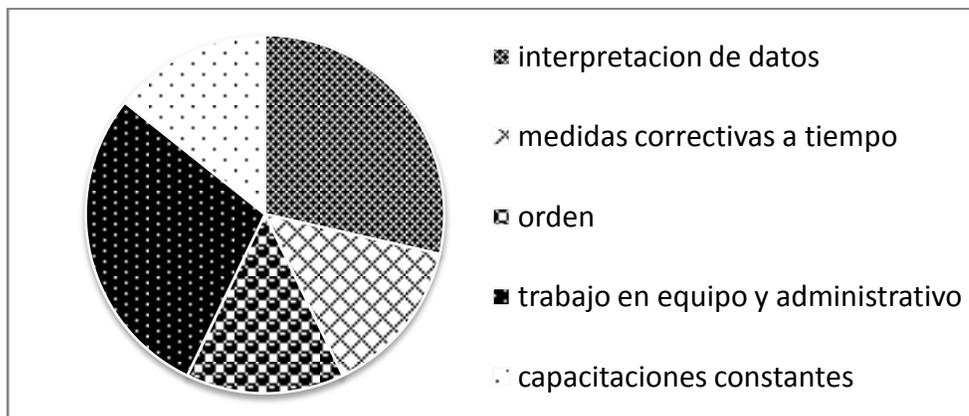
¿Cree usted que fuera necesario hacer alguna capacitación al personal dentro del departamento para mejorar algún aspecto?



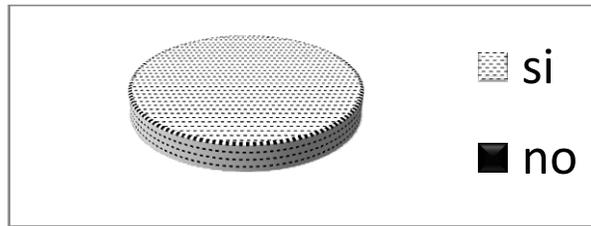
¿En qué temas cree usted que se podría capacitar al personal de campo?



¿En qué aspectos considera que debe mejorar el departamento de ambiente?



¿Posee el departamento planes de trabajo y presupuesto propio?



1.6 Conclusiones

El departamento de Ambiente de Minera San Rafael, S.A. cuenta con una estructura administrativa y operativa conformada por profesionales capacitados en sus diferentes disciplinas de incidencia (forestal, ambiental, química, y análisis de información geográfica), para la gestión y supervisión de proyectos de carácter ambiental.

El departamento de ambiente está conformado por un gerente encargado de programar las funciones que realiza el departamento y tres supervisores dedicados a realizar actividades de mitigación y monitoreo ambiental de acuerdo a sus capacidades como profesionales.

El análisis FODA realizado, resalta como fortalezas la coordinación de personal, soporte económico y personal capacitado; la capacitación técnica al personal de campo como oportunidad, y como debilidades la falta de personal técnico, administrativo y de campo.

1.7 Recomendaciones

Establecer metas de mejora continua a corto, mediano y largo plazo; que incluya un cronograma de capacitación al personal de campo.

Evaluar, en base al aumento de trabajo, la necesidad de contratar personal administrativo y personal técnico especializado.

1.8 Bibliografía

1. Díaz Corzo, GE. 2008. Trabajo de graduación canales de comercialización de productos de *Pinus maximinoi* H.E. Moore y *Pinus oocarpa* Schiede en la Asociación de Silvicultores Comunitarios (ASILCOM) de San Cristóbal Verapaz; diagnóstico y servicios en la empresa Everlife S.A. Trabajo graduación Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 148 p.
2. Elías Gramajo, S. 1996. El diagnóstico y los servicios en el EPS, guía metodológica: programa de ejercicio profesional supervisado. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 14 p.
3. Gómez Pereira, PM. 2006. Trabajo de graduación realizado en el ingenio Pantaleón, Siquinalá, Escuintla. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. Facultad de Agronomía. 189 p.

CAPÍTULO II

**EVALUACIÓN DE LA BIORREMEDIACIÓN DE UN ENTISOL CONTAMINADO CON
DIESEL, FINCA EL ESCOBAL, SAN RAFAEL LAS FLORES, SANTA ROSA**
**EVALUATION OF A BIOREMEDIATION OF AN ENTISOL CONTAMINATED BY DIESEL,
FINCA EL ESCOBAL, SAN RAFAEL LAS FLORES, SANTA ROSA**

2.1 PRESENTACIÓN

El suelo constituye un recurso natural difícilmente renovable que desempeña funciones entre las que destaca su papel como medio filtrante durante la recarga del manto acuífero y la protección de los mismos (Saval, 1995).

En Guatemala el uso de derivados del petróleo tales como gasolina y lubricantes es indispensable para el funcionamiento de maquinaria en el área industrial. Minera San Rafael es una empresa que se dedica a la exploración y explotación de minerales utilizando el derivado del petróleo, diesel, como materia primordial para el funcionamiento de maquinaria de construcción, perforación y movimiento vehicular; no obstante debido al uso constante de diesel, se han obtenido derrames o vertidos no intencionales o accidentales al suelo.

Por lo anterior el departamento de Ambiente de la empresa Minera San Rafael, S.A., ha visto la necesidad de recuperar el suelo alterado por derivados de petróleo, utilizando sistemas de biorremediación a base de productos biológicos y amigables con el ambiente.

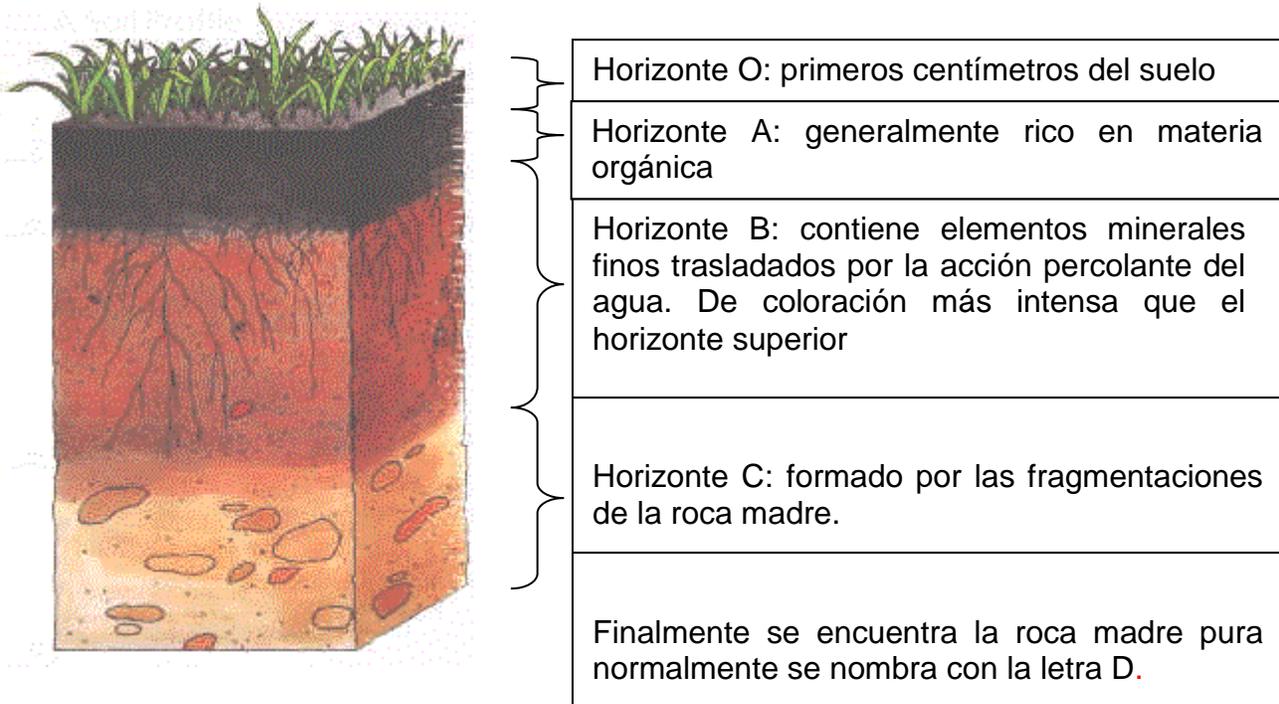
En el presente trabajo de investigación se evaluó el proceso de biorremediación de un suelo contaminado con diesel en la finca El Escobal, San Rafael Las Flores, Santa Rosa; caracterizando física, química y biológicamente el suelo durante sus distintas fases. Teniendo como objetivo la evaluación de un producto elaborado a base de enzimas y bacterias (OBT Oil degradation treatment) utilizando la metodología de biorremediación, el ensayo constó de cuatro tratamientos con cuatro repeticiones, en los cuales fueron utilizadas distintas dosis del producto biorremediante (0.15 kg, 0.35 kg, 0.7 kg, 0 kg). El ensayo presentó como resultado un incremento exponencial de distintos elementos minerales como Fosforo (P), Zinc (Zn) y Potasio (K) en los todos los tratamientos y una germinación nula en cada unidad experimental. El incremento en la disponibilidad de estos nutrientes a grado de toxicidad es resultado del ingreso de hidrocarburos en el suelo ya que los valores de óxido-reducción se ven disminuidos, afectando también la respuesta biológica de germinación de semillas.

2.2 MARCO TEÓRICO

2.2.1 Propiedades del suelo natural

El suelo es un recurso natural definido generalmente como la capa superior de la corteza terrestre, está formado por partículas de minerales, materia orgánica, agua, aire y allí nacen y se desarrollan miles de seres vivos, desde microorganismos hasta plantas y animales superiores [COM 2002]. Los suelos se clasifican en distintos tipos de acuerdo al porcentaje de cada uno de los componentes mencionados.

Los suelos se constituyen en capas, llamadas horizontes. Cada horizonte difiere en una o más características del superior o del inferior. Usualmente se reconocen cinco tipos de horizontes. Los horizontes se observan en la figura (1), y se detallan a continuación, según Castro-López (2004):



Figuras 2. Horizontes del suelo.

Fuente: Fuente: NRCS, USA

El suelo cumple un rol muy importante y esencial para el sustento de la vida en este planeta.

Entre las propiedades del suelo están:

- Ser fuente de alimentos para la producción de biomasa
- Ser actuar como medio filtrante y buffer
- Ser hábitat de miles de organismos
- Ser el escenario donde ocurren los ciclos biogeoquímicos
- Ser fuente de materia prima indispensable para el ser humano como los minerales
- Ser el lugar donde se realizan la mayoría de las actividades humanas como por ejemplo la agricultura y las actividades forestales

Dentro de las propiedades nombradas del suelo, está su capacidad de actuar como tampón y de servir de acopio de materiales, ambas características dependen fuertemente del contenido de materia orgánica presente, correspondiendo a la propiedad de “vertedero” antes nombrada. Esta propiedad se aplica, no solo al agua, sino también a los minerales, gases e incluso a una gran cantidad de sustancias químicas, incluidos algunos contaminantes [COM, 2002]. Cuando la capacidad de almacenar del suelo, se ve sobrepasada, ocurren muchos de los desastres naturales como son las inundaciones; en particular cuando se excede la dosificación de reactivos, o bien derrames, se impide el correcto actuar de la capacidad tampón que presenta el suelo, convirtiéndose en un riesgo para la salud no solo de las personas, sino también de todos los organismos que dependen y viven en él.

Como se menciona, la materia orgánica es uno de los componentes centrales del suelo y juega un rol muy importante, pues se encarga de mantener las funciones del suelo, en particular la capacidad de resistir a la erosión y de mantener la fertilidad del suelo. Además de asegurar la capacidad tampón mencionada y de adhesión que posee el suelo, primordial para limitar la difusión de contaminantes.

El suelo además es un medio rico en vida, con una gran diversidad de microorganismos que viven en él, siendo esto central para todas las funciones naturales que posee. La riqueza en diversidad otorga la estructura y fertilidad del suelo, incluida la producción de alimentos.

A pesar de haber sido considerado por muchos años un recurso infinitamente renovable, por su apariencia sana, el suelo superior es netamente un recurso no renovable, y actualmente posee altas tasas de degradación y tasas extremadamente lentas de regeneración debida principalmente a la acción humana.

2.2.2 Suelos contaminados

Se entiende como suelo contaminado, según muchos organismos internacionales, aquel que represente una amenaza para la salud humana y el medio ambiente, debido a las sustancias presentes en o bajo el suelo, generalmente debido a un mal uso previo. Además se puede decir que un sitio contaminado según Moraga (2003) es “aquel con presencia de componentes que no son atribuibles a la condición natural del sitio”.

Existe también un efecto estético de la contaminación, más allá de la pérdida de capacidad de soporte al crecimiento vegetal, que impacta negativamente sobre el valor económico, desde el punto de vista de la tasación comercial, puesto que el uso que se le dará a este suelo está restringido a la capacidad de éste, y si está contaminado, su calidad y por tanto capacidad, se ve disminuida.

La contaminación de suelos donde se desarrollan actividades industriales, agrícolas y humanas en general, se debe principalmente a la inadecuada gestión del mismo, la cual ha llevado a la disposición deliberada o accidental de desechos sobre él, tanto de materia orgánica, solventes o residuos peligrosos, perjudicando a su vez cualquier actividad posterior relacionada con este recurso, traduciéndose finalmente en un problema mundial de contaminación de los suelos.

La problemática comenzó a fines del siglo XIX, con la revolución industrial, pues una de las principales fuentes de contaminación fueron las instalaciones industriales tanto en operación como después de su cierre, las que causaron derrames y filtraciones, tanto por accidentes o debido al mal manejo de las operaciones.

La metodología usada normalmente para detectar suelos contaminados, es mediante análisis químicos. Hoy en día existe la intención, tanto en el medio científico, como en organizaciones internacionales y en los propios gobiernos [Büchs, 2003a] [Duelli et al., 1998] [Büchs, 2003b] de usar indicadores biológicos, en particular para determinar la “salud” del suelo, en términos de fertilidad. Pues aluden a que “riqueza de especies significa calidad de vida”, no solo enfocado en suelos contaminados sino en la “salud” de la tierra en su conjunto. Estos indicadores biológicos pueden ser comunidades biológicas, entendiéndose como cualquier organismo vivo presente en el lugar, o bien una especie determinada.

2.2.3 Gestión ambiental del sitio contaminado

La gestión de riesgo ambiental se basa en el estudio del riesgo debido a contaminantes, en este caso, presente en el suelo. El riesgo se define como la probabilidad que una sustancia o situación produzca un efecto adverso para algún elemento sensible, a lo humano o ecológico y/o económico, bajo determinadas condiciones de contacto.

Debido a las normativas de la limpieza de sitios contaminados en países desarrollados, se han desarrollado una serie de metodologías, propuestas principalmente por la agencia estadounidense ambiental (EPA), para la correcta caracterización y definición del problema, así como las posibles tecnologías aplicables para su remediación. Según la definición de la EPA un sitio contaminado (brownfield en inglés) “es aquel que es una propiedad cuya expansión, desarrollo o re-uso puede complicarse por la presencia, verdadera o percibida, de alguna sustancia peligrosa o algún contaminante” [EPA, 2003].

La gestión ambiental de un sitio incluye la recolección e interpretación de información histórica acerca de las actividades realizadas en ese lugar y de los posibles niveles de contaminantes químicos que puedan estar presentes en el sitio [Zynda, 2000]. Para realizar esta gestión se siguen principalmente dos pasos, la fase I, donde se evalúa la ocurrencia de contaminación histórica y una fase II donde la cantidad y extensión de contaminantes es determinada.

2.2.4 Biodiversidad y su importancia en el suelo

Se entiende por biodiversidad el “conjunto de genes, especies, ecosistemas y paisajes en un espacio determinado y en un momento dado, considerados en sus interacciones jerárquicas sucesivas de genes a especies, ecosistemas y paisajes y viceversa” [Di Castri, 2003].

Biodiversidad es la variabilidad de los organismos vivos, que forman parte de todos los ecosistemas terrestres y acuáticos. Incluye la diversidad dentro de una misma especie, entre especies y entre ecosistemas.

La biodiversidad es comúnmente conocida en términos de la gran variedad de plantas, animales y microorganismos. Hasta el momento, han sido identificadas alrededor de 1.75 millones de especies, la mayoría pequeñas criaturas como los insectos, sin embargo los

científicos estiman que hay alrededor de 13 millones de especies distintas, dentro de un rango de 3 a 100 millones [CBD, 2000].

Según Di Castri (2003) “en la actual sociedad es la biodiversidad la que ofrece a la humanidad los servicios ecológicos esenciales: el reciclaje de los elementos nutritivos y la descontaminación natural de la tierra y del mar, la conservación de la calidad del agua, del suelo y del aire, la regulación de los sistemas climáticos, los mecanismos de reproducción de animales y plantas, incluyendo la polinización, el control natural de las plagas y de las invasiones biológicas, la conservación de los paisajes” donde se incluyen además todas las propiedades del suelo,.

En este sentido, esta percepción corresponde a las funciones tanto “fuente” como “vertedero” y “reciclaje” de Dalí y al grupo de trabajo de la comisión Brundtland (1987).

La biodiversidad promueve y da sustento a actividades económicas en términos mundiales se estima que provee bienes y servicios que fluctúan entre US\$ 16 y 52 x 10¹² anuales, equivalentes a alrededor de 2 veces el producto geográfico bruto de todas las economías del mundo combinadas [Constanza et al., 1997].

El papel fundamental de la biodiversidad es mantener el balance y permitir los procesos funcionales del ecosistema como es el reciclaje. El desbalance que se observa hoy en día en el planeta, se debe principalmente al mal uso que ha dado el hombre a los recursos, principalmente en el tema de la biodiversidad.

Encontrándose en la actualidad una gran cantidad de especies en extinción y se estima que si el uso irracional de los recursos prosigue, la tasa de extinción aumentará notablemente en los próximos años.

Hoy existe evidencia de que la base de recursos naturales y ambientales de la tierra, de los cuales la diversidad genética, las especies de animales y vegetales y los ecosistemas forman una parte fundamental, se encuentra sometida a distintos grados de estrés. Los ecosistemas son fuente de enormes cantidades de bienes y materias primas provenientes de los distintos ambientes naturales, que alimentan y hacen posible la actividad económica de los países.

2.2.5 El suelo como hábitat microbiano

Tal como se mencionó en las propiedades del suelo, los microorganismos presentes en él son vitales para su fertilidad y para la degradación de materia orgánica y contaminantes en suelos y sedimentos [Von Beelen et al., 1997].

Estos microorganismos juegan un papel indispensable refiriéndose en particular a sus roles en los ciclos biogeoquímicos, tanto del carbono, del nitrógeno como de muchos otros elementos.

El crecimiento microbiano más importante tiene lugar en la superficie de las partículas del suelo [Madigan et al., 1999] normalmente en la rizosfera (región del suelo inmediata a la raíz de vegetales superiores). Incluso un pequeño agregado de suelo contiene microambientes muy diferentes, por tanto, podrían encontrarse diferentes tipos de microorganismos.

El recuento de bacterias siempre suele ser mayor en la rizosfera que en zonas del suelo donde no se encuentran raíces. Esto se debe a que las raíces secretan cantidades considerables de azúcares, aminoácidos, hormonas y vitaminas estimulando un crecimiento intenso de bacterias y hongos. Se sabe que tanto la abundancia como la diversidad de microorganismos en el suelo, depende directamente del horizonte del suelo que se esté estudiando.

Se estima que en un gramo de suelo en buen estado se puede encontrar hasta 600 millones de bacterias, correspondientes entre 15 mil y 20 mil especies distintas [COM, 2001], aunque según Ogram (1997) por cada gramo de suelo hay alrededor de 4 mil especies de microorganismos. No así en suelos desérticos donde el número de bacterias disminuye hasta 1 millón que se distribuirían entre 5 y 8 mil especies.

Como se menciona en la introducción de este trabajo los microorganismos contribuyen de gran manera a la fertilidad del suelo, es decir, a su capacidad para sostener el crecimiento de las plantas. Típicamente en el hábitat del suelo se encuentran de 10⁶ a 10⁹ bacterias por gramo de suelo, encontrándose más bacterias Gram positivas que en otros hábitats, sin embargo predominan las Gram negativas en números absolutos, en el cuadro 1 se presentan las bacterias más representativas del suelo [Atlas, 2002]:

Cuadro 2. Composición de bacterias en el suelo

Espece	%
<i>Arthrobacter</i>	5-60
<i>Bacillus</i>	7-67
<i>Pseudomonas</i>	3-15
<i>Agrobacterium</i>	1-20
<i>Alcaligenes</i>	1-20
<i>Flavobacterium</i>	1-20
<i>Corynebacterium</i>	2-12
<i>Micrococcus</i>	2-10
<i>Staphylococcus</i>	Menor que 5
<i>Xanthomonas</i>	Menor que 5
<i>Mycobacterium</i>	Menor que 5

Fuente: Atlas 2002.

2.2.6 Fijación de Nitrógeno

Muchos de los ciclos biogeoquímicos mencionados son realizados por bacterias especializadas que no pueden ser reemplazadas por otras. Además de su importante participación en actividades simbióticas, como es con la planta y la fijación de nitrógeno, resaltando así que la presencia de estos microorganismos en el suelo permiten tener un suelo fértil. Por ejemplo la presencia de las especies *Streptomyces* da el olor característico al suelo, que se atribuye a un suelo saludable.

La disponibilidad de formas fijadoras de nitrógeno es un importante limitante factor tanto para la actividad microbiana en el suelo como para el crecimiento de las plantas superiores, la presencia de estas especies permite el 60% de la fijación de nitrógeno que ocurre en la tierra [Madigan et al, 1999] .

Dentro de los principales organismos fijadores de nitrógeno se encuentran bacterias como *Azotobacter*, *Mycobacterium flavum*, *Azospirillum lipoferum*, *Methylococcus*, *Thiobacillus* y *Rhizobium*, entre otras.

2.2.7 Biomasa microbiana

La biomasa microbiana es el componente más activo del suelo, forma parte del “pool” de la materia orgánica y cumple una función muy importante en el humus, ya que interviene en los procesos de mineralización de nutrientes (Duchaufour, 1984), una vez muertos ponen a disposición de otros microorganismos y de las plantas los nutrientes contenidos en los restos

microbianos (Jenkinson y Ladd, 1981) y, por otro lado, también participan en la inmovilización. Así, los ciclos de algunos nutrientes mayoritarios, como el carbono, demuestran que la biomasa microbiana es clave en la dinámica de los nutrientes esenciales en el sistema edáfico; por ello, algunos autores afirman que la biomasa microbiana y su actividad en el suelo puede ser empleada como índice de comparación entre sistemas naturales o como indicador de las variaciones sufridas en el equilibrio de un suelo debido a la presencia de agentes nocivos o su manejo productivo (Doran *et al.*, 1994). Es decir, que los parámetros microbiológicos, y por lo tanto bioquímicos, sirven para indicar posibles cambios netos en el equilibrio del suelo que no podrían detectarse con métodos tradicionales (Brookes, 1985; Doran *et al.*, 1994; García y Hernández, 2000)

2.2.8 Suelos contaminados y microorganismos

La evaluación del efecto que producen los contaminantes del suelo en los microorganismos naturales presentes en él, ha recibido una atención considerable en los últimos años [Abbondanzi *et al.*, 2003].

Las comunidades microbianas presentes en suelos contaminados tienden a estar dominadas por aquellas bacterias que pueden sobrevivir a la toxicidad presente en el ambiente siendo capaces de utilizar al contaminante para crecer; en este sentido el contaminante “desbalancea”, más que toxifica, las comunidades ecológicas del suelo.

Según Van Beelen (1997) “los microorganismos resistentes a los contaminantes presentes en su hábitat, suelo en este caso, normalmente fracasan en realizar algunas de sus funciones ecológicas específicas”. Teóricamente la diversidad de especies presentes en el suelo puede ser un indicador de los efectos de la contaminación, en particular la aparición de microorganismos resistentes a ésta en una comunidad, puede ser de utilidad al momento de decidir por un indicador biológico de impacto.

Según estudios de Van Beelen (1997) sobre toxicidad, se sabe que algunos grupos de microorganismos tienen la capacidad de ser más resistentes a contaminantes que otros, por ejemplo las bacterias Gram negativas son más resistentes en comparación a las Gram positivas, en particular ante la presencia de metales.

En el mismo trabajo se estudió y concluyó, que la presencia de comunidades resistentes a metales traía consigo serias consecuencias ecológicas, pues estas comunidades presentan

bajas tasas de mineralización, su capacidad de biodegradación decrece así como su resistencia al frío.

Entre los microorganismos que normalmente se encuentran en un suelo contaminado, con hidrocarburos, está la especie *Pseudomonas* en particular *P. putida*. Esta bacteria pertenece a la subclase proteobacteria [Nelson et al. 2002], específicamente según Yu (2000) corresponde a una γ proteobacteria y asegura que la temperatura óptima para su crecimiento está en el rango de 15 a 22 °C, pero observa que pueden crecer a rangos menores entre 4 y 22° C. *Pseudomona* es una bacteria propia del suelo, y algunos linajes de esta especie han sido considerados como potencial bacteria para aplicaciones biotecnológicas como es la biorremediación de suelos.

También Cheungh y Kinkle (2001) lograron aislar *Mycobacterias*, que son bacterias degradadoras de hidrocarburos policíclicos (PAH); en este estudio además se observa la pérdida de diversidad en función de la concentración de contaminante presente en el suelo. Es posible encontrar la presencia de *Pseudomonas sp.*, *Stenotrophomnas matophilia* y *Rhodococcus erythropolis* en suelos contaminados con hidrocarburos del petróleo [Duarte et al., 2001].

Las bacterias del género *Sphingomonas* también son encontradas comúnmente en suelos con las características mencionadas. Recientemente se ha estudiado la presencia de esta especie en suelos con distintas concentraciones del contaminante donde se encontró que a mayor concentración menor era la diversidad presente de esta especie [Leys et al., 2004].

Así también fue demostrado en el estudio de Duarte (2001) donde se observó que si bien el número de bacterias no variaba con respecto a la presencia de contaminantes, al realizar análisis de las comunidades a través de métodos moleculares, específicamente DGGE (ver capítulo 3.2 Técnicas de análisis de diversidad microbiana), se observa que a medida que aumenta la concentración de contaminantes en el suelo, el perfil de análisis de la comunidad disminuía. Según Duarte (2001) las “comunidades microbianas tienden a responder ante la presencia de contaminantes del petróleo, cambiando su estructura a una que favorezca los organismos capaces de sobrevivir a las nuevas condiciones a expensas de otros organismos que son reprimidas”.

A raíz de la degradación natural que ocurre en los suelos ante la presencia de contaminantes como los hidrocarburos, y la actuación en este proceso que realizan los microorganismos, en

particular, las bacterias, es que se han llevado a cabo una serie de estudios con respecto a la diversidad microbiana presente en un sitio antes, durante y después de su descontaminación [Abed et al., 2002] [Flynn et al., 2000]. La mayoría de estos análisis se realizan a través de la utilización de técnicas moleculares, como las que se mencionarán posteriormente, específicamente, utilizando el gen de rRNA presente en el DNA de las bacterias y el uso del “fingerprinting” por medio de T-RFLP.

2.2.9 Biorremediación

Las prácticas de biorremediación consisten en el uso de microorganismos como plantas, hongos, bacterias naturales o modificadas genéticamente para neutralizar sustancias tóxicas, transformándolas en sustancias menos tóxicas o convirtiéndolas en inocuas para el ambiente y la salud humana.

La biorremediación puede clasificarse de acuerdo al organismo que efectúe la degradación del compuesto xenobiótico. La fitorremediación, es el uso de plantas para la remoción de contaminantes de suelo y aguas, es una técnica apropiada para la remoción de metales pesados y radionucleos. Sin embargo, no se conoce sobre la habilidad de esta en el tratamiento de suelos con contaminantes orgánicos persistentes, un ejemplo lo constituye la especie *Thlaspi caurulencens* en suelos contaminados con zinc y cadmio donde se encontró que los eliminaba del suelo agrícola.

Así mismo, existen animales que actúan como agentes descontaminantes, ya que pueden desarrollarse en medios con fuerte toxicidad y poseen en su interior microorganismo capaces de retener metales pesados; tal es el caso de la lombriz de tierra (*Lumbricus terrestris*) la cuál absorbe los contaminantes a través de los tejidos y los acumula en las vías digestivas.

Las bacterias son las más empleadas en el proceso de biorremediación, aunque también se han empleado otros microorganismos como hongos, algas, cianobacterias y Actinomicetes para la degradación de compuestos tóxicos en el suelo.

La biorremediación del suelo, puede ser dividida en estrategias in situ y ex situ. In situ corresponde a la biorremediación referente a tratamientos que no requieren excavación del suelo contaminado; ex situ es un método donde se excava el suelo o el material a tratar y se

le maneja en un sistema controlado como una celda de landfarming o algún tipo de biorreactor.

Las técnicas de biorremediación in situ presentan una mayor ventaja sobre las ex situ por el menor costo y la disminución de la generación de residuos a eliminar en la superficie. La biorremediación in situ es la más aplicada y utiliza microorganismos autóctonos, estos en el suelo pueden degradar un gran número de constituyentes de lodo pero su eficacia y su población, son afectados cuando algunos contaminantes tóxicos están presentes en altas concentraciones. La reintroducción de microorganismos aislados de un sitio contaminado ayuda a resolver este problema ya que los microorganismos pueden degradar los constituyentes y tiene una gran tolerancia a la toxicidad.

Los métodos, más empleados en biorremediación son:

1. Biofiltración, en esta entra el aire contaminado a unos biorreactores en los cuales la flora microbiana degrada los contaminantes volátiles en dióxido de carbono, agua y biomasa, 2. Bioventing, el cual es un proceso de biorremediación in situ que consiste en la ventilación forzada del suelo mediante la inyección de O₂ en la zona no saturada mediante pozos de inyección; debido a la aireación se va a favorecer la degradación de los hidrocarburos por volatilización y migración de la fase más volátil del contaminante, y por biodegradación, ya que al incrementar la oxigenación del suelo se va a estimular la actividad microbiana, 3. El Biosparging es un método in situ que combina el efecto de la ventilación con la utilización de los microorganismos autóctonos para degradar compuestos orgánicos absorbidos por el suelo en la zona saturada. En este el aire y los nutrientes se inyectan en la zona saturada para mejorar la actividad de los microorganismos presentes.

Esta técnica se utiliza para la degradación de compuestos orgánicos en el suelo y aguas subterráneas. 4. Las biopilas, son un tipo de biorremediación de tipo ex situ en condiciones no saturadas, consiste en la reducción de la concentración de contaminantes derivados del petróleo de suelos excavados mediante el uso de la biodegradación. La técnica consiste en la formación de pilas de material biodegradable de dimensiones variables formadas por suelos contaminados y materia orgánica, compost, en esta se aplica una aireación activa volteando la pila o pasiva por tubos de aireación. Este principio se puede aplicar a la mayoría de los compuestos orgánicos siendo más eficaz en los ligeros.

Entre los factores que influyen en la aplicación de esta técnica se destacan: los hidrocarburos deben ser no halogenados con concentraciones en suelo menores a 50.000ppm, superficie de trabajo relativamente grandes, necesidad de una población microbiana mayor a 1000UFC (Unidades Formadoras de Colonias) por gramo de suelo.

5. La atenuación natural, es una técnica de biorremediación in situ de bajo costo, su característica principal es la utilización de los procesos fisicoquímicos de interacción contaminante suelo y los procesos de biodegradación tienen lugar de forma natural. Estos procesos se conocen como procesos de biotransformación natural, que van a reducir la concentración de los contaminantes. Entre ellos se encuentra la dilución, la dispersión, volatilización, adsorción, biodegradación y las reacciones químicas que se producen en el suelo.

2.2.10 Hidrocarburos

El término hidrocarburos totales de petróleo (TPH) se usa para describir a un grupo extenso de varios cientos de sustancias químicas derivadas originalmente del petróleo crudo. En este sentido, los TPH son realmente una mezcla de sustancias químicas. Se les llama hidrocarburos porque casi todos los componentes están formados enteramente de hidrógeno y carbono. Los crudos de petróleo pueden tener diferentes cantidades de sustancias químicas; asimismo, los productos de petróleo también varían dependiendo del crudo de petróleo del que se produjeron. La mayoría de los productos que contienen TPH se incendian. Algunos TPH son líquidos incoloros o de color claro que se evaporan fácilmente, mientras que otros son líquidos espesos de color oscuro o semisólidos que no se evaporan. Muchos de estos productos tienen un olor característico a gasolina, kerosén o aceite. Debido a que en la sociedad moderna se usan tantos productos derivados del petróleo (por ejemplo, gasolina, kerosén, aceite combustible, aceite mineral y asfalto), la posibilidad de contaminación ambiental es alta. La contaminación con productos de petróleo estará constituida por una variedad de estos hidrocarburos. Debido al gran número de hidrocarburos involucrados, generalmente no es práctico medir cada uno de ellos. Sin embargo, es útil medir la cantidad total del conjunto de hidrocarburos que se encuentran en una muestra de suelo, agua o aire.

La cantidad de TPH que se encuentra en una muestra sirve como indicador general del tipo de contaminación que existe en el sitio. Sin embargo, la cantidad de TPH que se mide suministra poca información acerca de cómo hidrocarburos de petróleo específicos pueden afectar a la gente, los animales y las plantas. Para tener una idea más clara acerca de lo que les sucede a estas sustancias en el ambiente, los científicos han dividido a los TPH en grupos de hidrocarburos basado en el comportamiento similar en el suelo o el agua. Estos grupos se conocen como fracciones de hidrocarburos del petróleo. Cada fracción contiene muchos componentes individuales.

2.2.11 Características de los hidrocarburos.

A. Hidrocarburos en el suelo.

Los hidrocarburos son compuestos formados por átomos de carbono e hidrógeno, de gran abundancia en la naturaleza, presentes principalmente en el petróleo (Chappin, 1988 y PEMEX, 1988).

Se considera a los hidrocarburos de petróleo como una mezcla líquida compleja de gases, líquidos y sólidos, existiendo pequeñas cantidades de mezclas de nitrógeno, oxígeno y azufre, además de contener compuestos de hierro, níquel, vanadio y otros metales (PEMEX, 1988; Wood, 1974).

De manera general, el petróleo tiene una proporción de 76 a 86% de carbono, e hidrógeno de 10 a 14%. Los hidrocarburos se clasifican de la siguiente forma:

Hidrocarburos Biogénicos: Estos son sintetizados por casi todas las plantas, animales terrestres y marinos, incluyendo la microbiota, bacterias, plancton marino, diatomeas, algas y plantas superiores (Bedair & Al-Saad, 1992). La síntesis de este tipo de hidrocarburos está controlada por rutas metabólicas, lo cual trae como resultado mezclas de compuestos de limitada complejidad estructural relacionada directamente con la función biológica específica.

Las características de los hidrocarburos biogénicos son:

- Los formados recientemente exhiben un alto nivel de n-alcenos de número impar
- Los aportes por detritus de plantas terrígenas se caracterizan por n-alcenos de número impar en la región de C23-C33

- Los aportes de origen marino se ven marcados por la presencia de los alcanos C15, C17 y C19
- Las contribuciones biogénicas notan el predominio del isoprenoide pristano
- Compuestos de tipo aromático no se presentan frecuentemente o al menos en proporciones significativas (Bedair & Al-Saad, 1992).

Estos pueden ser biosintetizados por los organismos o bien pueden ser ingeridos con el alimento y alterados después de su ingestión. El fitano y el pristano son compuestos que se encuentran comúnmente en el petróleo, en los organismos sólo se conoce el pristano que al parecer ingresa con el alimento (Padilla, 1989).

La formación de compuestos aromáticos y alifáticos de bajo peso molecular es dado conforme al tiempo de la descomposición de la materia orgánica, estos compuestos pueden ser condensados para dar lugar a sustancias de mayor peso molecular como lo explica Schnitzer & Khan (1978) y Blumer & Youngblood (1975) como parte de la teoría de la biosíntesis confirmada por un gran número de compuestos de bajo peso molecular que es un buen indicador de la presencia microbiana en el suelo.

Hidrocarburos Antrópicos: Son aquellos que son introducidos como resultado de cualquier tipo de actividad humana. Los procesos de combustión industrial que contribuyen con niveles mucho más altos debido principalmente al humo generado por carbón, combustibles fósiles y petróleo refinado, las descargas de aguas municipales, las actividades de transporte y los derrames son algunas de las principales fuentes de estos contaminantes (Bidleman et al., 1990).

Los HAP's constituyen contaminantes orgánicos relacionados con las actividades humanas. Los compuestos que más conciernen de los hidrocarburos del petróleo y de la pirólisis de combustibles son los hidrocarburos aromáticos policíclicos, sus homólogos alquil y los HAP's sustituidos con sulfuro o nitrógeno. Muchos de esos compuestos son estables y altamente tóxicos, algunos son potentes carcinógenos y otros mutagénicos. Se ha reportado que los HAP's son producidos a altas temperaturas de 400 a 500°C, mientras los homólogos alquil sustituidos se producen a bajas temperaturas de 100 a 150° C (Lesser, 1995).

Los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP's) están formados por dos o más anillos de benceno fusionados, los cuales difieren en el número y posición del anillo aromático.

Hay dos clases de hidrocarburos aromáticos: los de bajo peso molecular que tienen de 2 a 3 anillos aromáticos como el naftaleno, fluoreno, fenantreno y antraceno y derivados, y los de alto peso molecular que tienen de 4 a 7 anillos aromáticos como el criseno. Sus características físicas y químicas varían de acuerdo a su peso molecular y, en consecuencia, en su distribución y conducta del ambiente, lo mismo sus efectos en los sistemas biológicos.

Su importancia está relacionada a su movilidad, debido a su peso molecular, presentándose en un intervalo de 128.16 a 300.36 u.m.a. para el naftaleno y coroneno, respectivamente. Los HAP's de alto peso molecular son relativamente inmóviles y, por ende, de baja volatilidad y solubilidad. Dieciséis HAP's (naftaleno, acenaftileno, acenafteno, fluoreno, fenantreno, antraceno, fluoranteno, pireno, benzo(a)antraceno, criseno, benzo(b)fluoreno, benzo(k)fluoreno, benzo(a)pireno, indeno(1,2,3-cd)pireno, dibenzo(ah)antraceno y benzo(ghi)perileno) son considerados como contaminantes prioritarios por EPA, la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Comunidad Económica Europea (CEE) debido a sus efectos carcinogénicos (Menzie et al., 1992).

Estos compuestos se encuentran distribuidos en el suelo, mar, sistemas fluviales y sedimentos, su presencia se ha atribuido principalmente a los derrames de petróleo y descargas de plantas petroquímicas, aún cuando también se puede deber al transporte atmosférico por los aportes de la combustión (Padilla, 1989).

Las características determinantes de los hidrocarburos en el ambiente son las siguientes:

Densidad. Se define como la relación entre la masa y una unidad de volumen determinado para una sustancia en particular (Chapín & Summerlin, 1988). Los compuestos orgánicos se clasifican en dos grupos: Compuestos orgánicos ligeros: son aquellos cuya densidad es menor que la del agua. Compuestos orgánicos densos: son aquellos que poseen una densidad mayor a la del agua.

Polaridad. Se refiere a la existencia o no de una distribución equitativa de las nubes electrónicas que forman varios enlaces. Si no es equitativa, una parte de la molécula será más positiva y la otra será más negativa. Por tanto, la molécula se comporta como un dipolo o que es una molécula polar. Por otra parte, si las nubes electrónicas están igualmente distribuidas, decimos que la molécula es no polar. La polaridad depende de la electronegatividad de los átomos y la forma de la molécula, si no hay diferencia de electronegatividad de los átomos la molécula será no polar. Todos los compuestos orgánicos

contienen carbono y la mayoría también hidrógeno, debido que existe una leve diferencia en electronegatividad entre el carbono y el hidrógeno; la mayoría de los compuestos son no polares (Chapín & Summerlin, 1988).

De acuerdo a McBride (1994), los hidrocarburos alifáticos son compuestos no polares y son, por lo tanto, pobres competidores con el agua. Los hidrocarburos aromáticos, son compuestos no polares o muy débilmente polares como los alifáticos. Se ha determinado que compuestos no polares o débilmente polares tienen afinidad por las fases orgánicas hidrofóbicas en ácido húmico siendo las fuerzas de Van der Waals o la atracción hidrofóbica como unión de enlace.

Hidrofobicidad. Se refiere a la poca afinidad de los compuestos orgánicos al agua como es el caso de los hidrocarburos del petróleo. El comportamiento resultante es una baja solubilidad de las moléculas no polares y aquellas débilmente polares que tienen una mayor afinidad de reaccionar con la materia orgánica a través de las interacciones de Van der Waals.

Solubilidad al agua. Es la característica química más importante usada para asegurar: (a) movilidad química, (b) estabilidad química, (c) acumulación química, (d) bioacumulación química y (e) sorción química, en el ambiente

Las características de la solubilidad son:

La alta solubilidad al agua de un compuesto químico promueve su mayor movilidad, y es menos probable a ser acumulativo, bioacumulativo, volátil y persistente; un compuesto químico altamente soluble es propenso a ser biodegradado y metabolizado por los microorganismos.

Un contaminante químico poco soluble en agua es más probable de ser inmovilizado por vía adsorción y es menos móvil, más acumulativo o bioacumulativo, persistente en los compartimentos ambientales y ligeramente propenso a biodegradarse y puede ser metabolizado por plantas y animales (Ney, 1990).

Los valores numéricos de la solubilidad son los siguientes:

- solubilidad baja < de 10 ppm
- solubilidad media entre 10 y 1000 ppm
- solubilidad alta >1000 ppm

La solubilidad de los hidrocarburos varía de acuerdo a sus características químicas y físicas que influyen de manera determinante en el transporte de tales compuestos hacia zonas profundas.

El comportamiento de los contaminantes orgánicos está en función de sus características físicas y químicas (densidad, solubilidad, polaridad, entre otras.), además de las características del medio como son la unidad de suelo, permeabilidad, estructura, tamaño de las partículas, contenido de humedad y de materia orgánica, así como la profundidad del manto freático. Factores climatológicos como la temperatura y la precipitación pluvial también tienen una gran influencia. Todas las variables en su conjunto definen el tamaño y la distribución tridimensional del frente de contaminación en una zona específica.

Cuadro 3. Parámetros del compuesto químico, suelo y ambiente

Parámetros del Contaminante	Parámetros del Suelo	Parámetros Ambientales
Solubilidad	Contenido y retención de agua	Temperatura
Presión de vapor	Porosidad, densidad y permeabilidad	Precipitación
Número y tipo de grupos funcionales	Contenido de arcilla	Evapotranspiración
Polaridad	Contenido de materia orgánica	
	Profundidad de agua subterránea	

Fuente: McBride (1994)

2.2.12 Antecedentes

Según Cando Rodríguez, Miguel Ángel (2011), en su tesis de pre grado “Determinación y análisis de un proceso de biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos”; con la finalidad de establecer parámetros necesarios y útiles, en un proceso de biorremediación de hidrocarburos, para lo cual se empleó microorganismos nativos (bacterias) presentes en una matriz contaminada (lodo con crudo residual y suelo contaminado con hidrocarburos). Estableció que como conclusión general de esta investigación el mejor tratamiento en la

biodegradación de hidrocarburos HAPs y TPH es el T3 (Consortio Microbiano), formado por la bacteria B1 (*Streptomyces Spp*) + B8 (bacilo), en caldo de Tripticasa Soya.

Contreras Araneda (2005) estudio “Suelos contaminados con hidrocarburos: RNA 16S como indicador de impacto” para la obtención del Título de Ingeniero Civil en Biotecnología, en la Universidad de Chile; concluyo que el suelo es un recurso imprescindible para las actividades humanas, y según las normativas vigentes en el país, este recurso debe ser protegido. Una manera de hacerlo es implementando medidas preventivas. Proponiéndose el estudio de los parámetros biológicos como posible indicador de calidad del suelo.

Carmen Cárdenas (2004) en su investigación: “Influencia de la fertilización en la biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos utilizando lodos residuales estabilizados”, concluyó que en todos los tratamientos hubo remoción de hidrocarburos, siendo el más eficiente el tratamiento con 70% de lodo y fertilizante donde la remoción fue de un 63%. Así mismo, se produjo la transformación parcial de las resinas en aromáticos, y se pudo determinar la remoción de hidrocarburos aromáticos. Los lodos residuales estabilizados utilizados como esponjante, hicieron más eficiente el proceso de biorremediación de hidrocarburos en suelo.

Marc Viñas Canals (2005), en su investigación “Caracterización catabólica de consorcios microbianos para su utilización en la biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos”; determinó que el consorcio AM es el más eficiente en la degradación de la fracción aromática y además es capaz de degradar de forma significativa la fracción saturada, aunque no es capaz de transformar los alcanos ramificados. Sería apropiada su utilización en matrices contaminadas ricas en HAPs como la creosota y el fuel de pirólisis. Los ramnolípidos MAT10, producidos por *Pseudomonas aeruginosa* AT10 mejoran la biodegradación del crudo Casablanca por el consorcio AM, incrementando tanto la tasa de biodegradación como la degradación de los isoprenoides de la fracción saturada y los HAPs alquilados de la fracción aromática.

Héctor H. Riojas González, Luis G. Torres Bustillos, Iram Mondaca Fernández. José de Jesús Balderas Cortes, y Pablo Gortáres Moroyoqui. México (2010). En su investigación: “Efectos de los surfactantes en la biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos”. Concluyeron que la biorremediación es una tecnología que tiene un gran potencial en la recuperación de sitios contaminados por hidrocarburos de petróleo y

generalmente es más barata que otras alternativas de restauración. Los factores externos de la biorremediación tales como los nutrientes, humedad, temperatura, oxígeno, pH, entre otros son importantes para lograr condiciones favorables. La biorremediación se ve muy favorecida con la aplicación de surfactantes, le ayuda en la biodisponibilidad del contaminante y con esto en su biodegradación, si bien pueden existir efectos negativos, esto hace suponer realizar pruebas previas, para definir el tipo de surfactante a utilizar y su dosis.

Ana Laura Deyta y Susana Saval, Universidad Nacional Autónoma de México (1998). En su investigación: "Biodegradación de hidrocarburos monoaromáticos volátiles (BTX) a nivel microcosmos en suelos contaminados con gasolina". Determinaron que ciertos parámetros pueden manifestar alguna limitante en el proceso de biodegradación, como es el propio tipo de suelo, su baja capacidad de retención de agua y de nutrientes. No obstante, el hecho de encontrar microorganismos nativos capaces de sobrevivir en esas circunstancias y de desarrollar una actividad degradadora de los hidrocarburos monoaromáticos abre la oportunidad para nuevas investigaciones, dirigidas a evaluar el potencial de atenuación natural de suelos contaminados.

2.3 MARCO REFERENCIAL

2.3.1 Ubicación geográfica del Proyecto “El Escobal”

El proyecto “El Escobal” está ubicado 2.5 kilómetros al este de la cabecera municipal del municipio San Rafael Las Flores. San Rafael Las Flores se sitúa en el suroriente de la República de Guatemala y se localiza en la latitud 14 28 30” y longitud 90 10 40”. Colinda al Norte y Oeste con Mataquescuintla (Jalapa), al Este con San Carlos Alzatate (Jalapa) y al sur con Casillas (Santa Rosa). El ensayo se llevará a cabo en el invernadero el cual se encuentra dentro de las instalaciones del proyecto.

2.3.2 Vías de acceso

Una de las grandes ventajas que presenta la finca, es que se sitúa a orillas de la carretera nacional RD-3 que actualmente se encuentra asfaltada, esta carretera tiene acceso desde la ciudad de Guatemala o desde el departamento de Jalapa.

2.3.3 Condiciones climáticas

Las instalaciones de la empresa presentan elevaciones que van desde los 1300 hasta los 1700 metros sobre el nivel del mar (msnm). Su clima es templado. Posee un bosque húmedo subtropical (templado), su temperatura media de 15 a 25 grados centígrado y su precipitación anual promedia entre 1500 a 2500 milímetros anuales.

2.3.4 Zonas de vida

La zona de vida predominante en el área es de tipo húmedo subtropical templado, con siglas (bmh-St).

2.3.5 Suelos

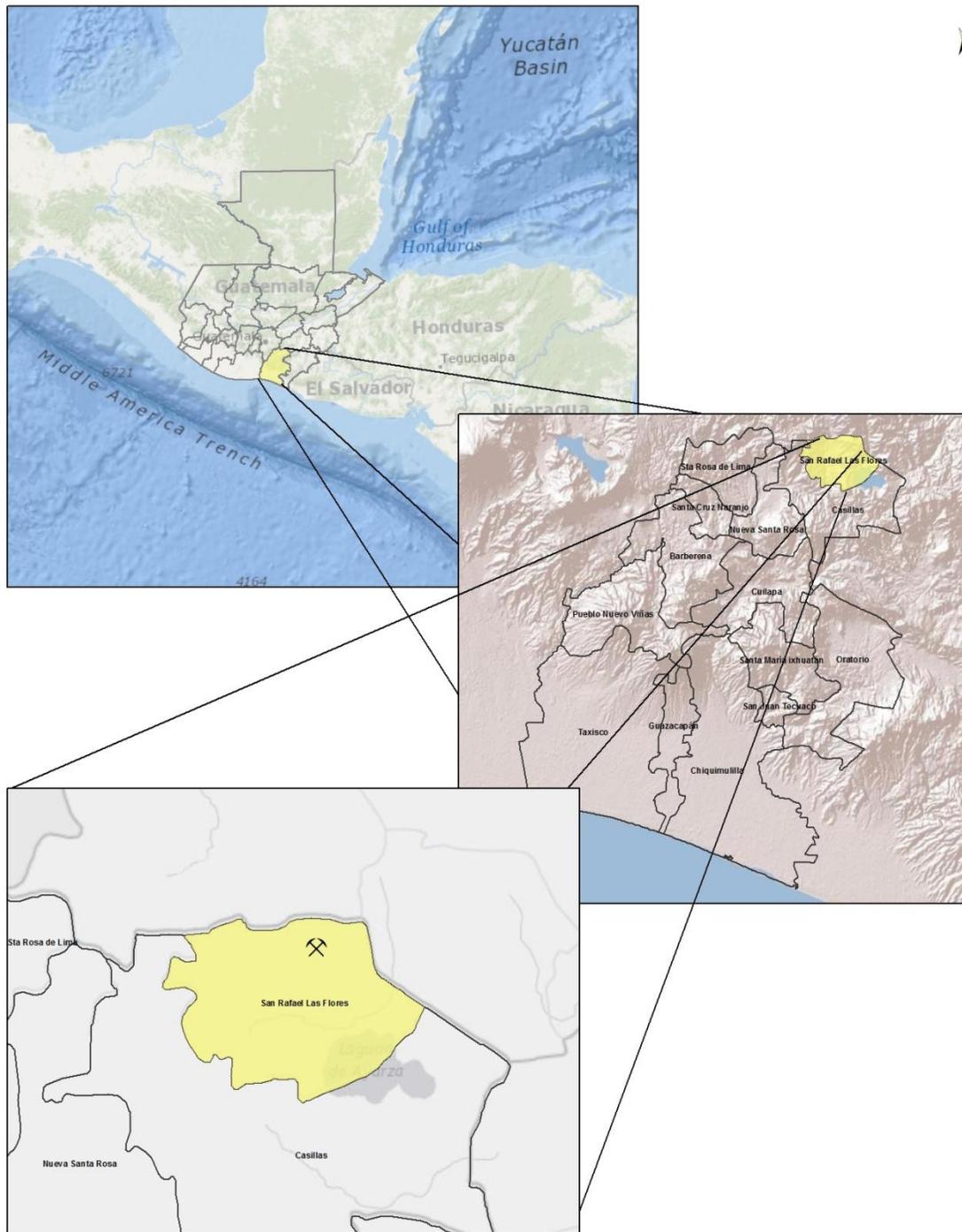
La finca El Escobal se encuentra en la serie Suelos de la Altiplanicie central. Charles, Simmons; et al. Clasificación de Reconocimiento de los Suelos de la República de Guatemala, Guatemala 1959, pp. 331-357).

A. Orden entisol (ent).

Suelos con poca o ninguna evidencia de desarrollo de su perfil y, por consiguiente, de los horizontes genéticos. El poco desarrollo es debido a condiciones extremas, tales como, el relieve (el cual incide en la erosión o, en su defecto, en la deposición superficial de materiales minerales y orgánicos) y, por otro lado, las condiciones como el exceso de agua. De acuerdo al relieve, estos suelos están presentes en áreas muy accidentadas (cimas de montañas y volcanes) o en partes planas.

B. Suborden orthents (Eo).

Suelos de profundidad variable, la mayoría son poco o muy poco profundos. Generalmente están ubicados en áreas de fuerte pendiente, existen también en áreas de pendiente moderada a suave, en donde se han originado a partir de deposiciones o coluviamientos gruesos y recientes. Gran cantidad de Orthents en Guatemala, no son apropiados para actividades agrícolas, sobre todo cuando están en superficies inclinadas. Entre sus limitaciones están: la poca profundidad efectiva, en muchos casos la pedregosidad interna y los afloramientos rocosos. Si han perdido su cubierta natural, sus mejores usos serán para producción forestal o sistemas agroforestales.



Figuras 3. Municipio San Rafael Las Flores, departamento de Santa Rosa, Guatemala.

2.3.6 Descripción del material experimental

OBT Oil degradation treatment es un producto completamente natural, no es genéticamente modificado, con cepas de bacterias y enzimas no patogénicas. A pesar de que las bacterias producen sus propias enzimas para ayudar en la digestión, existe un tiempo de retraso en su proceso de biorremediación. Todas las fórmulas de United Tech se mezclan con las adecuadas enzimas lo cual hacen que el proceso de remediación sea aún más rápido. Este producto ha sido formulado para la limpieza de derrames de petróleo en tierra y en agua dulce o salada, así como también en arena. Hecho a base de microorganismos naturales, con ingredientes FDA GRAS (Generalmente Considerados como Seguros, por sus siglas en inglés, Substances Generally Recognized as Safe, *GRAS*) que figuran lo más seguro para las plantas, animales y seres humanos. Se caracteriza por cumplir con las tareas asignadas utilizando la menor cantidad de producto posible. Por medio de un proceso de microencapsulación patentada, este componente permite la estabilización de las bacterias durante un mínimo de dos años. Fuente: Bioremediation & OBT Oil Degradation Treatment. United Tech Inc.

2.4 OBJETIVOS

2.4.1 Objetivo General

Evaluar un componente orgánico de enzimas y bacterias para la biorremediación de un entisol contaminado con diesel, ubicado en San Rafael Las Flores, Santa Rosa.

2.4.2 Objetivos específicos

- Caracterizar físico, química y biológicamente el suelo bioremediado por bacterias y enzimas degradadoras de sustancias tóxicas.
- Evaluar la respuesta en crecimiento del sorgo en un entisol contaminado con diesel, bioremediado con cuatro dosificaciones de enzimas y bacterias.
- Evaluar el costo financiero de aplicación de los tratamientos (dosificaciones) del compuesto biológico.

2.5 HIPÓTESIS:

El suelo bioremediado con 0.70 kg del compuesto biológico a evaluar (OBT Oil Degradation Treatment) en 25 kg de suelo, presentará una mayor biodiversidad microbiana y características químicas dentro de los rangos para su uso agrícola.

2.6 METODOLOGÍA

2.6.1 Manejo del experimento

A. Primera Fase

A. Campo

- **Recolección del suelo**

La recolección de la muestra de suelo es la operación más sencilla y más importante pues una pequeña cantidad de suelo debe representar las características de un área determinada.

Para la recolección de la muestra se utilizaron los siguientes materiales: guantes, pala, piocha, y costales. La cantidad de suelo recolectada fue de 100 kilogramos; la cual fue utilizada durante el experimento en sus fases de campo y laboratorio.

La muestra fue colectada dentro de las instalaciones del proyecto “El Escobal”, en distintos puntos en los cuales existe vegetación natural y pueden ser puntos de derrames involuntarios.

B. Laboratorio

A. Análisis microbiológico del suelo

Se realizó un análisis microbiológico del suelo 10 días después de recolectado, con el objetivo de determinar la presencia de microorganismos biológicos. El análisis constó de una cuantificación de la biomasa microbiana, y una identificación y clasificación de las bacterias presentes en el suelo.

B. Análisis Físicoquímico

Se realizó un análisis físico y químico para conocer las características de pH, conductividad eléctrica y materia orgánica del suelo obteniendo un parámetro previo a la alteración del componente suelo.

C. Segunda Fase

A. Campo

- **Contaminación del suelo**

Se procedió a aplicar una cantidad de hidrocarburo al suelo con el objetivo de simular un derrame causado de forma involuntaria. El hidrocarburo utilizado fue Diesel y la cantidad aplicada fue de 2 litros de Diesel en 100 kilogramos de suelo. El suelo fue colocado sobre una superficie de metal cubierta con nylon para evitar que al aplicar el Diesel, éste tenga contacto con otra superficie. El Diesel fue rociado sobre el suelo, luego se homogenizó el suelo contaminado.

B. Laboratorio

Luego de haber aplicado el hidrocarburo al suelo, se realizó nuevamente un análisis microbiológico y químico (pH, conductividad eléctrica y materia orgánica).

- **Aplicación del componente biológico al suelo**

Seguidamente se dividió el suelo en 4 partes iguales con una cantidad de 25 kg. El suelo fue colocado en recipientes de plástico para tener un mejor control del suelo y así evitar que este tuviera contacto con la superficie. Luego se aplicó una dosis por tratamiento, obteniendo 4 tratamientos distintos. La dosis a aplicar por tratamiento (OBT Oil degradation treatment) fue de: T1 = 0.15 kg, T2 = 0.35 kg, T3 = 0.7 kg, T4 = 0 kg. Las dosis fueron aplicadas a 25 kg de suelo.

- **Análisis microbiológico y químico del suelo**

Se procedió a realizar el análisis microbiológico y químico del suelo 30 días después de haber incorporado el producto al sustrato ya que este es el tiempo estimado en el cual el producto realiza los efectos de biorremediación.

C. Etapa Experimental de campo

- **Tratamientos**

Se utilizaron 3 dosis distintas de producto OBT Oil degradation treatment, más el tratamiento testigo el cual no tiene aplicación de producto. Se utilizó el mismo tipo de suelo en todo el

experimento. La concentración de hidrocarburo en cada tratamiento y repetición fue la misma; la cual fue determinada por la cantidad aproximada obtenida en derrames previos. Se utilizaron 4 repeticiones por cada tratamiento.

El número de tratamientos a evaluar fue determinado por la cantidad de producto que la empresa recomienda. Intentando no variar demasiado las cantidades a utilizar.

Los tratamientos fueron distribuidos en las unidades experimentales dentro de cada bloque aleatoriamente, así, cada bloque constituyó una repetición.

Cuadro 4. Tratamientos a evaluar del compuesto de enzimas y bacterias.

T1	0.15 kg (OBT Oil degradation treatment) / 25 kg suelo
T2	0.35 kg (OBT Oil degradation treatment) / 25 kg suelo
T3	0.7 kg (OBT Oil degradation treatment) / 25 kg suelo
T4	0 kg (OBT Oil degradation treatment) / 25 kg suelo

- **Diseño experimental**

El diseño experimental utilizado para el análisis de la información fue “Bloques Completos al Azar”, con 4 tratamientos y 4 repeticiones para un total de 16 unidades experimentales.

El modelo estadístico para la interpretación de los resultados a nivel de campo es el siguiente:

$$Y_{ij} = M + T_i + E_{ij}$$

a) $i = 1,2,3,4$ = dosificaciones de producto

b) $j = 1,2,3,4$ = repeticiones

Dónde:

Y_{ij} = Variable respuesta de la ij -ésima unidad experimental, peso material vegetal

M = Media general

T_i = Efecto del i -ésimo tratamiento

E_{ij} = Efecto del error experimental asociado a ij -ésimo unidad experimental

- **Unidad experimental**

Cada unidad experimental consistió de una maceta con la cantidad de 1.5kg de suelo, en el cual se sembraron 10 semillas de sorgo. En total serán 16 unidades experimentales, distribuidas en 4 hileras.

Cuadro 5. Diagrama de distribución de tratamientos y repeticiones.

T1	T3	T2	T4
T2	T1	T4	T3
T3	T4	T1	T2
T4	T2	T3	T1

Fuente: propia.

D. Respuesta Biológica del cultivo

Luego de haber bioremediado el suelo durante 30 días con los tratamientos propuestos (cuadro 3), se procedió al llenado de macetas (unidades experimentales).

- **Siembra del cultivo**

La siembra del cultivo (*Sorghum spp.*), se realizó para conocer si el desarrollo y crecimiento del cultivo es distinto entre los tratamientos. Se sembraron 10 semillas por unidad experimental (macetas).

- **Mantenimiento del cultivo**

Se procedió a realizar las actividades de riego y control de malezas del cultivo (*Sorghum spp.*), por un periodo de 40 días.

- **Cosecha**

Luego de 40 días después de la siembra, se programó la cosecha del material vegetal la cual consta de la extracción completa de la planta en cada maceta (área radicular y foliar).

E. Variable de respuesta

- **Características físicas, químicas y biológicas del suelo.**

Los análisis microbiológicos, físico y químico se realizaron de la siguiente manera: antes y después de la contaminación del suelo, y a los 30 días después de la aplicación de los tratamientos a evaluar (cuadro 3).

- **Materia seca total (kg)**

40 días después de la siembra se programó pesar el total de materia seca por maceta (unidad experimental) utilizando una balanza comercial.

Cuadro 6. Características a evaluar, variable y unidad de medida.

Característica a evaluar	Variable	Unidad de medida
Biológica	Biomasa microbiana total Bacterias	Genero
Física	Textura	
Química	pH materia orgánica conductividad eléctrica	% μS/cm

F. Análisis de la información

- **Estadístico**

Para la variable materia seca se programó un análisis de varianza (ANDEVA), y su correspondiente prueba de medias (TUKEY al 5%).

El análisis de los resultados fisicoquímico y microbiológico fue comparado con parámetros y rangos óptimos establecidos a nivel internacional.

- **Económico**

Se realizó un análisis económico del costo de recuperación de los suelos contaminados para cada uno de los tratamientos evaluados. Realizando una evaluación de costo por unidad experimental y por tratamiento.

2.7 RESULTADOS

2.7.1 Caracterización del suelo sin alteración y suelo con hidrocarburos.

La caracterización del suelo es la primera etapa a realizar para un estudio de biorremediación, esto nos permite conocer las características del suelo previo a su alteración. Posteriormente se realizó la caracterización del suelo en sus distintas fases.

Cuadro 7. Caracterización química y física del suelo.

		Referencia	Suelo sin alteración	Suelo con diesel	T1 (0.15 kg)	T2 (0.35 kg)	T3 (0.7 kg)	T4 (0 kg)
	pH	6-6.5	5.67	6.45	6.90	6.90	7.00	6.50
Ppm	P	12-16	2.8	15.65	5.86	13.38	11.57	2.86
	Cu	2-4	0.75	1.2	2.00	3.00	3.50	1.00
	Zn	4-6	2.4	5.95	47.50	35.00	25.00	42.50
	Fe	10-15	15	22	255.00	347.50	575.00	25.50
	Mn	10-15	12.95	65.9	750.00	812.50	950.00	587.50
Meq/100gr	CIC	20-25	5.99	5.18	12.92	13.75	12.92	14.17
	Ca	4-8	4.1354	4.1729	6.70	6.49	6.24	6.24
	Mg	1.5-2	4.86	2.05	1.56	1.60	1.60	1.48
	Na				0.31	0.78	0.78	0.11
	K	0.27-0.38	0.41	0.37	1.33	2.15	2.36	0.79
%	M.O.	4-5	5.27	5.66	10.94	10.43	10.43	10.43
	arcilla		11.80	9.47	23.27	23.27	21.17	21.17
	limo		12.73	11.78	32.84	28.64	28.64	30.74
	arena		75.47	78.75	43.89	48.09	50.19	48.09

Fuente: Laboratorio de análisis de agua, suelo y planta, "Ing. Salvador Castillo Orellana",
Facultad de Agronomía, USAC.

La caracterización química del suelo en sus distintas fases nos muestra un cambio considerable en la disponibilidad de ciertos nutrientes; el zinc, hierro y manganeso muestran cambios altos en su disponibilidad, llegando a ser considerados tóxicos.

Fosforo (P): Se puede observar un incremento de fosforo (P) considerable después de la aplicación de diesel, y en los tratamientos T2 y T3 los cuales tenían una mayor cantidad de producto aplicado. El nivel de pH óptimo para la disponibilidad máxima del fósforo es de 6.0-7.0 el cual fue propicio para la disponibilidad de este nutriente.

Zinc (Zn): La función principal del zinc es activar las enzimas dando lugar a algunos procesos del metabolismo que hace que las plantas se desarrollen a un ritmo constante y gradual. El zinc aumenta su disponibilidad en minerales ferro-magnésicos, y debido al ingreso de hidrocarburos en el suelo el nivel de zinc se vio incrementado. Los niveles alcanzados por este elemento sobrepasaron sus niveles, ocasionando que este se elemento llegara a niveles de toxicidad.

Hierro (Fe) y Manganeso (Mn): En suelos muy ácidos y poco aireados, el manganeso asimilable puede alcanzar niveles muy elevados, alcanzando diversos grados de toxicidad.

Este efecto fue causado por la aplicación del producto de biorremediación, ya que dicho componente cambió las condiciones de textura del suelo afectando la aireación del mismo, creando un suelo mucho más compacto e impermeable, pero al mismo tiempo conteniendo una capacidad de agua elevada.

El ingreso de hidrocarburos al suelo disminuye los valores de Eh (oxido-reducción), esto permite la movilidad y disponibilidad del hierro y manganeso.

Capacidad de intercambio catiónico (CIC): la CIC presente en el suelo sin alteración fue baja (5.99), pero ésta se vio incrementada con el ingreso del producto biorremediador al suelo. Un suelo que tiene alto contenido de arcillas puede retener más cationes intercambiables que un suelo con bajo contenido de arcillas. La probabilidad de que los nutrientes se pierdan por lixiviación es baja, por lo que el suelo posee una mayor capacidad para almacenarlos y suministrarlos a los cultivos, favoreciendo la fertilidad de los suelos.

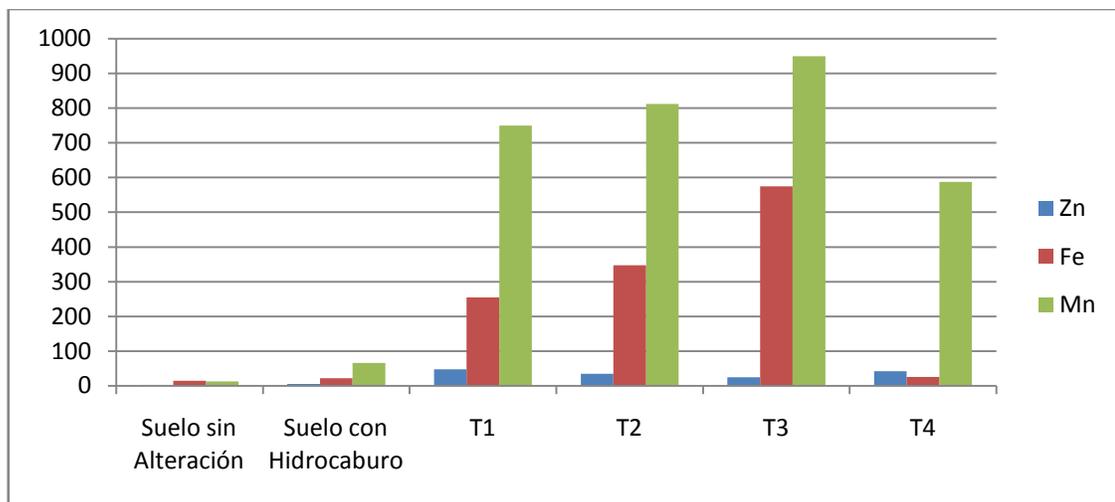
Potasio (K): el potasio presento un incremento exponencial en los distintos tratamientos (T1, T2, T3), esto debido a que este nutriente aumenta su disponibilidad conforme aumentan las

arcillas en el suelo. Las arcillas fueron incrementando conjuntamente con las dosis de producto aplicado.

Cuadro 8. Datos de nutrientes que presentaron datos altos.

(Ppm)	Referencia	Suelo sin Alteración	Suelo con Hidrocarburo	T1	T2	T3	T4
Zn	4-6	2.4	5.95	47.50	35.00	25.00	42.50
Fe	10-15	15	22	255.00	347.50	575.00	25.50
Mn	10-15	12.95	65.9	750.00	812.50	950.00	587.50

Fuente: Laboratorio de análisis de agua, suelo y planta, "Ing. Salvador Castillo Orellana", Facultad de Agronomía, USAC.



Figuras 4. Efectos de la contaminación por hidrocarburos en las características químicas.

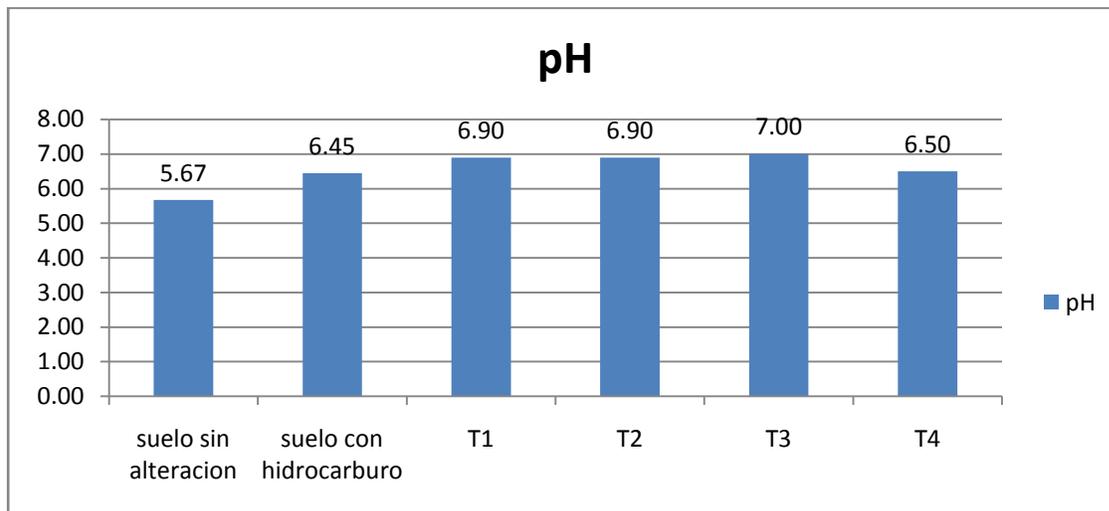
Las propiedades químicas del suelo más afectadas por un derrame de hidrocarburos son el aumento de carbono orgánico, ya que el 75% del carbono del petróleo crudo es oxidable; disminución del pH, debido a la acumulación del carbono orgánico y generación de ácidos orgánicos, aumento del manganeso y hierro intercambiable, y aumento del fósforo disponible (SEMARNAP 1996).

El ingreso de hidrocarburos en el suelo induce a valores bajos de Eh (Eh= potencial redox). Junto con el pH, el potencial redox es un parámetro decisivo. Los valores bajos de potencial de oxidación/reducción dan formas reducidas que suelen ser solubles. Las formas oxidadas tienen fuerte tendencia a precipitar e influyen en el estado del ión metálico, las condiciones redox pueden afectar también de una manera indirecta la movilidad de metales, aumentando su disponibilidad. Muchos metales están asociados o adsorbidos a hidróxidos de Fe y Mn,

estos no son estables a Eh bajos y se convierten en FeS o FeCO_3 dependiendo de las condiciones químicas, cuando esto ocurre los metales asociados con hidróxidos de Fe y Mn se movilizan.

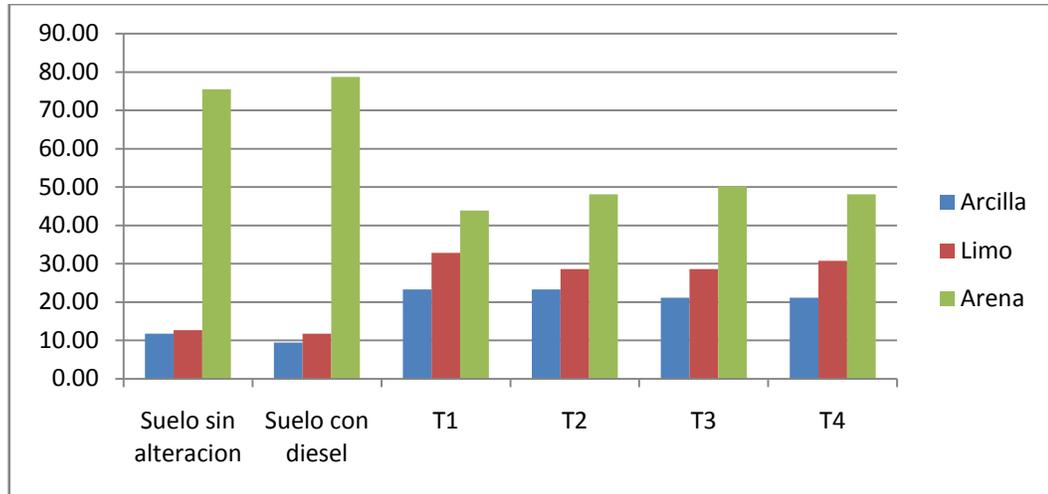
Efecto sobre pH:

De acuerdo a los valores obtenidos en el cuadro 6, podemos observar un incremento en el pH en el suelo, debido al ingreso de hidrocarburos (Diesel) y posteriormente el conjunto de enzimas y bacterias biorremediadoras. Dicho incremento en el pH mostró resultados dentro de los rangos establecidos de un suelo fértil con un pH neutro (6 y 7). Un pH neutro permite tener a disposición la mayoría de nutrientes necesarios para el desarrollo y crecimiento de un cultivo.



Figuras 5. Variabilidad de pH en tratamientos evaluados

La caracterización física del suelo presentó un incremento en arcillas, limos y una disminución de arenas al introducir el producto de biorremediación. Los tratamientos presentaron una acumulación de arcillas ocasionando que se formaran terrones.



Figuras 6. Análisis Físico de la clase textural del suelo.

Las propiedades físicas del suelo más afectadas por derrames de hidrocarburos son la estructura del suelo debido a la ruptura de los agregados y el aumento de la retención del agua en la capa superficial. Probablemente el componente más importante del suelo en relación con la persistencia de sustancias tóxicas es la arcilla. La persistencia aumenta cuanto más pequeñas son las partículas debido a que aportan una gran área superficial para la absorción de los productos químicos. (Oscar Ortínez Brito, Irina Lema, y Arturo Gavilán García. La restauración de suelos contaminados con hidrocarburos en México.).

2.7.2 Análisis Microbiológico Identificación de bacterias y biomasa microbiana

Cuadro 9. Cuadro comparativo de resultados microbiológicos en cada fase experimental.

	1 FASE	2 FASE	T1 (0.15 kg)	T2 (0.35 kg)	T3 (0.7 kg)	T4 (0 kg)
	Natural	Aplicación Diesel				
PDA	Rhizoctonia sp.	Rhizoctonia sp.		Rhizoctonia sp		Rhizoctonia sp
	Fusarium sp.	Fusarium sp.		Fusarium sp		
	Rhizopus sp.	Rhizopus sp.				
BACTO AGAR	Pseudomonas sp.	Pseudomonas sp.				
	Aspergillus niger	Aspergillus niger				
	Penicillium sp.	Penicillium sp.				
	Micrococcus sp.	Micrococcus sp.				
	Staphylococcus sp.	Staphylococcus sp.				
	Bacillus sp.	Bacillus sp.	Bacillus sp.	Bacillus sp.	Bacillus sp.	Bacillus sp.
		Kiebsella ozaerense	Kiebsella ozaerense	Kiebsella ozaerense	Kiebsella ozaerense	Kiebsella ozaerense
RECuento AEROBICO EN PLACA			13,500 UFC/gramo de suelo	29,160 UFC / gramo de suelo	21,600 UFC / gramo de suelo	29,700 UFC/gramos de suelo
BIOMASA MICROBIANA	17,066 ug/gramo de suelo	9,000 ug/gramo de suelo	6,933.33 ug/gramo de suelo	10,666.67 ug/gramo de suelo	29,333.33 ug/gramo de suelo	5,333.33 ug/gramo de suelo

Fuente: Agrolaboratorio CERES, Área de Patología Agrícola.

El análisis microbiológico efectuado en laboratorio nos permite obtener el género de bacterias presentes en el suelo durante las distintas fases del experimento.

La biomasa microbiana en el suelo se vió afectada al aplicar el hidrocarburo (Diesel), disminuyendo una cantidad de 8,066 ug/gramo de suelo. Al aplicar el producto biorremediador la cantidad de biomasa microbiana es incrementada conforme la dosis de producto aplicado en cada tratamiento.

Los géneros *Bacillus* sp y *Kiebsella ozaerense* fueron los únicos géneros de bacterias los cuales tuvieron presencia en todos los tratamientos después de aplicar el componente biorremediador. El tratamiento 2 (0.35 kg OBT / 25 kg de suelo), presentó los géneros *Rhizotocnia* sp y *Fusarium* en el suelo. Y el tratamiento 4 (sin aplicación de producto OBT), denotó la presencia de *Rhizotocnia* sp.

2.7.3 Análisis Respuesta Biológica del cultivo

El proceso de germinación tuvo como resultado un 0% en cada tratamiento y cada repetición; esta falta de germinación se debió a las condiciones físicas del suelo después de haber sido aplicado el componente biológico. El suelo presentó altos niveles de arcilla y limo, (como pudimos ver en la Figura 5) lo cual afectó la porosidad del mismo y ocasionó que la semilla no tuviera las condiciones de aireación y porosidad necesarias en el suelo para su desarrollo. No obstante se realizó una prueba de germinación sobre papel periódico, aplicando únicamente agua para no favorecer la germinación con ningún tipo de nutriente. La prueba de germinación dio como resultado un 85% positivo, germinando 17 semillas de 20.

Cuadro 10. Número de semillas germinadas en cada unidad experimental.

T1 R1 = 0	T3 R2 = 0	T2 R3 = 0	T4 R4 = 0
T2 R1 = 0	T1 R2 = 0	T4 R3 = 0	T3 R3 = 0
T3 R1 = 0	T4 R2 = 0	T1 R3 = 0	T2 R4 = 0
T4 R1 = 0	T2 R2 = 0	T3 R3 = 0	T1 R4 = 0

Prueba de Germinación		
20 semillas de Sorgo colocadas sobre papel periódico		
17 semillas germinaron (+) 3 semillas no germinaron (-)		

Figuras 7. Semillas con respuesta positiva de germinación en condiciones ideales.

2.7.4 Análisis Financiero

Los datos obtenidos en el costo financiero fueron los siguientes:

Cuadro 11. Cuadro Costo/Beneficio.

Tratamiento	Cantidad de producto OBT (Kilogramos)	Precio por tratamiento	Precio por unidad experimental	Beneficio
1	0.15 kg OBT /25 kg de tierra	Q206.68	Q51.67	0%
2	0.35 kg OBT /25 kg de tierra	Q482.27	Q120.57	0%
3	0.70 kg OBT /25 kg de tierra	Q964.53	Q241.13	0%
4	0.00 kg OBT /25 kg de tierra	Q0.00	Q0.00	0%

Los resultados muestran que no se obtuvo ningún beneficio en ningún tratamiento. El porcentaje de beneficio de los tratamientos fue determinado por el número de semillas germinadas después de la biorremediación.

La germinación del cultivo fue nula en cada unidad experimental, lo cual nos indica que ninguno de los tratamientos tuvo beneficio al serle aplicado el producto biorremediador OBT.

2.8 CONCLUSIONES

- La caracterización química del suelo, en las distintas etapas de la evaluación, reveló un cambio en los niveles nutricionales presentes en el suelo, alcanzando algunos el grado de toxicidad como el caso del hierro y manganeso, los cuales debido a la disminución de los valores de óxido-reducción (Eh), ocasionados por los hidrocarburos, aumentaron su disponibilidad. La hipótesis es nula ya que el suelo biorremediado con 0.70 kg del compuesto biológico no presentó una mayor biodiversidad microbológica así como tampoco características químicas dentro de los rangos para su uso agrícola, esto debido a que los efectos del hidrocarburo alteraron la disponibilidad de bacterias en el suelo e incrementaron la disponibilidad de los nutrientes hierro y manganeso.
- La germinación en cada uno de los tratamientos y repeticiones fue negativa en un 100%, debido a la toxicidad en el suelo ocasionada por el incremento de los nutrientes zinc, hierro y manganeso.
- La utilización del componente biológico de enzimas y bacterias no presentó beneficios económicos en ninguno de los tratamientos, únicamente representó un costo en su utilización.

2.9 RECOMENDACIONES

- En la planificación, agregar a la metodología un análisis del porcentaje total de hidrocarburos (TPH), prolongar el tiempo de funcionamiento del producto biorremediador (20 a 30 días más), variar las dosis utilizadas del componente biorremediador, pueden producir resultados diferentes.
- En el manejo del experimento, controlar aireación y porosidad del suelo al momento de realizar la siembra, agregar materia orgánica para mejorar las condiciones de aireación y descomposición en el suelo, utilizar uno ó varios cultivos distintos a sembrar después de la biorremediación del suelo, también cambiarían los resultados finales.

2.10 BIBLIOGRAFÍAS

1. Arrieta Ramírez, OM; Rivera Rivera, AP; Arias Marín, LA; Rojano, B; Ruiz, O; Cardona Gallo, SA. 2010. Biorremediación de un suelo con diesel mediante el uso de microorganismos autóctonos (en línea). Colombia, Universidad Nacional de Colombia, Revista Gestión y Ambiente. 14 p. Consultado 15 mayo 2012. Disponible en <http://www.revista.unal.edu.co/index.php/gestion/index>
2. Belmonte Serrato, F; Romero Díaz, A; Alonso Sarría, F; Moreno Brotons, J; Rojo López, S. 2010. Afección de suelos agrícolas por metales pesados en áreas limítrofes a explotaciones mineras del sureste de España (en línea). Murcia, España, Universidad de Murcia. 10 p. Consultado 15 ago 2012. Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=40720151005>
3. Benavides López de Mesa, J; Quintero, G; Guevara Vizcaino, A L; Jaimes Cáceres, DC; Gutiérrez Riaño, SM; Miranda García, J. 2006. Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos derivados del petróleo (en línea). Colombia, Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca, Facultad de Ciencias de la Salud. 9 p. Consultado 16 ago. 2012. Disponible en http://www.unicolmayor.edu.co/invest_nova/NOVA/ARTREVIS1_5.pdf
4. Cárdenas, C. 2004. Influencia de la fertilización en la biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos utilizando lodos residuales estabilizados (en línea). Venezuela, Universidad del Zulia (LUZ), Centro de Investigación del Agua (CIA). 4 p. Consultado 26 abr 2012. Disponible en <http://www.bvsde.paho.org/bvsAIDIS/PuertoRico29/angulo.pdf>
5. Cuevas Díaz, M Del C; Rosaldo Santiago, J De la L; López Luna, J. 2012. Evaluación de la toxicidad de los suelos mediante bioensayos con semillas (en línea). México, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. 20 p. Consultado 10 ago. 2012. Disponible en <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/665/toxicidad.pdf>
6. Contreras Araneda, PA. 2005. Suelos contaminados con hidrocarburos: rna 16s como indicador de impacto (en línea). Tesis Ing. Civil Biotecnol. Chile, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería Química y Biotecnología. 75 p. Consultado 20 abr 2012. Disponible en <http://cabierta.uchile.cl/revista/26/articulos/pdf/rev6.pdf>
7. Deyta, AL; Saval, S. 2002. Biodegradación de hidrocarburos monoaromáticos volátiles (BTX) a nivel microcosmos en suelos contaminados con gasolina (en línea). México, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Ingeniería, Coordinación de Bioprocesos Ambientales. 9 p. Consultado 28 abr 2012. Disponible en <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/impactos/peru/mexiaa059.pdf>
8. Escorza Núñez, JG. 2007. Estudio de inóculos bacterianos como biorremediadores de suelos contaminados con petróleo (en línea). Tesis Ing. Biotecnol. Amb. Ecuador, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de

Ciencias Químicas. 117 p. Consultado 25 abr 2012. Disponible en <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/220/1/236T0001.pdf>

9. García Izquierdo, C; Hernández Fernández, T. 2004. La importancia de los microorganismos en la calidad y salud de suelos (en línea). *In* Conferencia Internacional Eco-Biología del Suelo y el Compost (1, 2004, ES). Murcia, España, Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura (CEBAS-CSIC). 2 p. Consultado 25 abr 2012. Disponible en http://www.musalit.org/pdf/IN060651_es.pdf
10. Infante, C; Ortega, C; Morales, F; Ehrmann, U; Hernández Valencia, I; Pérez, R. 2010. Efecto del potasio en la biorremediación de un suelo contaminado con un crudo liviano (en línea). Venezuela, Universidad Central de Venezuela, Instituto de Zoología y Ecología Tropical. 8 p. Consultado 15 mayo 2012. Disponible en <http://www.ucla.edu.ve/bioagro/Rev22%282%29/7.%20Efecto%20del%20potasio%20en%20la%20biorremediaci%C3%B3n.pdf>
11. Martínez Prado, A; Pérez López, M; Pinto Espinoza, J; Gurrola Nevárez, B; Osorio Rodríguez, AL. 2011. Biorremediación de suelo contaminado con hidrocarburos empleando lodos residuales como fuente alterna de nutrientes (en línea). México, Universidad Autónoma de México, Instituto Tecnológico de Durango, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional. 12 p. Consultado 8 ago 2012. Disponible en <http://www.revistas.unam.mx/index.php/rica/article/view/26299>
12. Martínez, VE; López, F. 2001. Efecto de hidrocarburos en las propiedades físicas y químicas de suelo arcilloso (en línea). México, Universidad Autónoma de Chapingo. 9 p. Consultado 23 mayo 2012. Disponible en www.chapingo.mx/terra/contenido/19/1/art9-17.pdf
13. Ortíz Brito, O; Ize Lema, I; Gavilán García, A. 2007. La restauración de suelos contaminados con hidrocarburos en México (en línea). México, Instituto Nacional de Ecología. Consultado 10 set 2012. Disponible en <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/gacetas/422/restauracion.html>
14. Rivera Martínez, MA. 2000. Evaluación de factores abióticos que afectan la germinación del sorgo sureño (en línea). Honduras, Escuela Agrícola Panamericana El Zamorano. 45 p. Consultado 13 jun 2012. Disponible en <http://catalogo.zamorano.edu/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=317>
15. Roldan Martin, A; Iturbe Arguelles, R. 2002. Saneamiento de suelos contaminados con hidrocarburos mediante biopilas (en línea). México, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Ingeniería. Consultado 15 ago 2012. Disponible en <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico13/029.pdf>
16. Viñas Canals, M. 2005. Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos: caracterización microbiológica, química y ecotoxicológica (en línea). España, Universidad de Barcelona, Facultad de Biología, Departamento de Microbiología. 352 p. Consultado 16 ago 2012. Disponible en

http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/2396/TESIS_MVINAS_CANALS.pdf;jsessionid=B8A55C7329B5E541E3D193C7DDCDEE64.tdx?sequence=1

17. Waves, J; Charbeneau, R; Tauxe, J; Lien, B; Provost, J; Hunsberg, U. 1997. Modelo para evaluación de derrames de hidrocarburos (en línea). México, Comisión Nacional del Agua, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 213 p. Consultado 10 set 2012. Disponible en http://www.ingenieroambiental.com/4012/hssm_sp.pdf

CAPÍTULO III SERVICIOS REALIZADOS
EN EL DEPARTAMENTO DE AMBIENTE, MINERA SAN RAFAEL, SAN RAFAEL LAS
FLORES, SANTA ROSA

3.1 Presentación

El departamento de Ambiente es parte del Proyecto “El Escobal” el cual es propiedad de la empresa Minera San Rafael, S.A. Minera San Rafael, S.A. es una empresa formada en el 2009 que se dedica a la exploración y explotación de minerales. El departamento de Ambiente de la Minera San Rafael, se formó en enero del 2009 con la responsabilidad de velar internamente por que las personas de la empresa y empresas sub-contratadas cumplan con las normas nacionales e internacionales del tema ambiental, así como implementar y supervisar la ejecución de medidas de prevención y/o mitigación pertinentes según sean las necesidades.

Dentro del programa Ejercicio Profesional Supervisado de la Facultad de Agronomía, los servicios que se llevaron a cabo en el departamento de Ambiente, durante el periodo de febrero a noviembre del 2012, fueron: “Generación de mapas del uso actual de tierras, en base a los Sistema de Información Geográfica (SIG) para distintos proyectos a ejecutar en Minera San Rafael”, “Elaboración de un plan de manejo de las áreas cultivadas con café dentro de la propiedad de la empresa” y la “Elaboración de un plan de manejo forestal”.

La generación de mapas de uso actual de tierras fue de beneficio para el departamento ya que estos mapas sirvieron de referencia para delimitar y dimensionar las áreas a utilizar en proyectos a futuro como el mantenimiento de áreas agrícolas y forestales. El plan de manejo del cultivo de café y el plan de manejo forestal, son utilizados como material de apoyo para el mantenimiento de cultivos y su aprovechamiento, permitiendo ser una base con lineamientos claros y confiables.

3.2 Servicio I

Generación de mapas del uso actual de tierras, en base a los Sistema de Información Geográfica (SIG) para distintos proyectos a ejecutar dentro de la empresa Minera San Rafael, S.A. en el departamento de Ambiente.

3.2.1 Introducción

La generación de mapas de cualquier sitio, región o lugar da una idea de lo que se analiza, evalúa o investiga, representando un beneficio para la empresa debido a que es un complemento de referencia gráfica-geográfica en los proyectos que ejecuta. La tecnología permite, por medio de dispositivos GPS, registrar recorridos, seguir rutas pre marcadas, marcar puntos referenciales en cualquier parte del mundo y trasladar esta información a un ordenador para una mejor visualización y estudio. Los mapas elaborados durante el ejercicio profesional supervisado, permitieron delimitar áreas extensas de carácter agrícola y forestal, siendo de utilidad para el departamento de ambiente ya que dicho departamento es el encargado del mantenimiento y control de áreas fuera del sector industrial.

3.2.2 Objetivos

A. Objetivo general

- Analizar la información geográfica existente para brindar información básica sobre la cantidad de área disponible de cultivos agrícolas y áreas forestales.

B. Objetivos específicos

- Generar mapas que sirvan para delimitar áreas de producción agrícola y áreas forestales.
- Crear una fuente de referencia geográfica para cada proyecto a ejecutar.

3.2.3 Metodología

A. Fase de campo

Por medio de visitas a los lugares donde se realizan los proyectos y con la ayuda del mapa base (elaborado previamente), se procedió a corroborar la información toponímica, orográfica, paisajística, etc. Utilizando como herramienta también el sistema de posicionamiento global (GPS).

B. Fase de gabinete I

Se recolectó toda la información secundaria necesaria de las áreas de interés y se elaboró el mapa base utilizando registros cartográficos del Instituto Geográfico Nacional (IGN) a escala 1: 50,000, así como las capas digitales de la República de Guatemala elaboradas por el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA) con la finalidad de geoposicionar los proyectos.

C. Fase de gabinete II

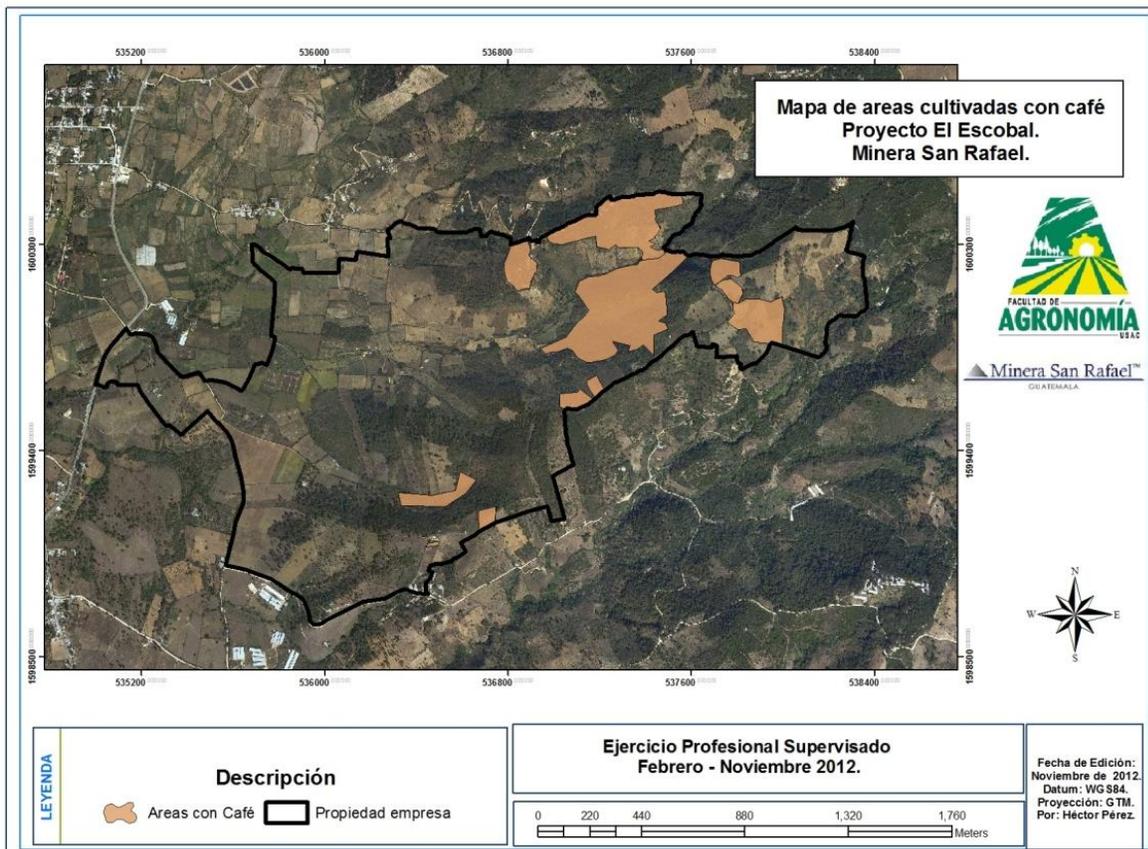
La información obtenida de las visitas a campo se ordenó, procesó, y corrigió con ayuda de los programas ARC GIS, Map Source y GPS Utility donde se procedió a generar los mapas actualizados y requeridos para cada estudio.

3.2.4 Resultados

La empresa Minera San Rafael, S.A. dentro de su límite territorial posee áreas de bosque natural y áreas con café como cultivo establecido. Los siguientes mapas muestran como están ubicadas las distintas áreas (café y bosque) dentro del proyecto.

A. Área con cultivo de café.

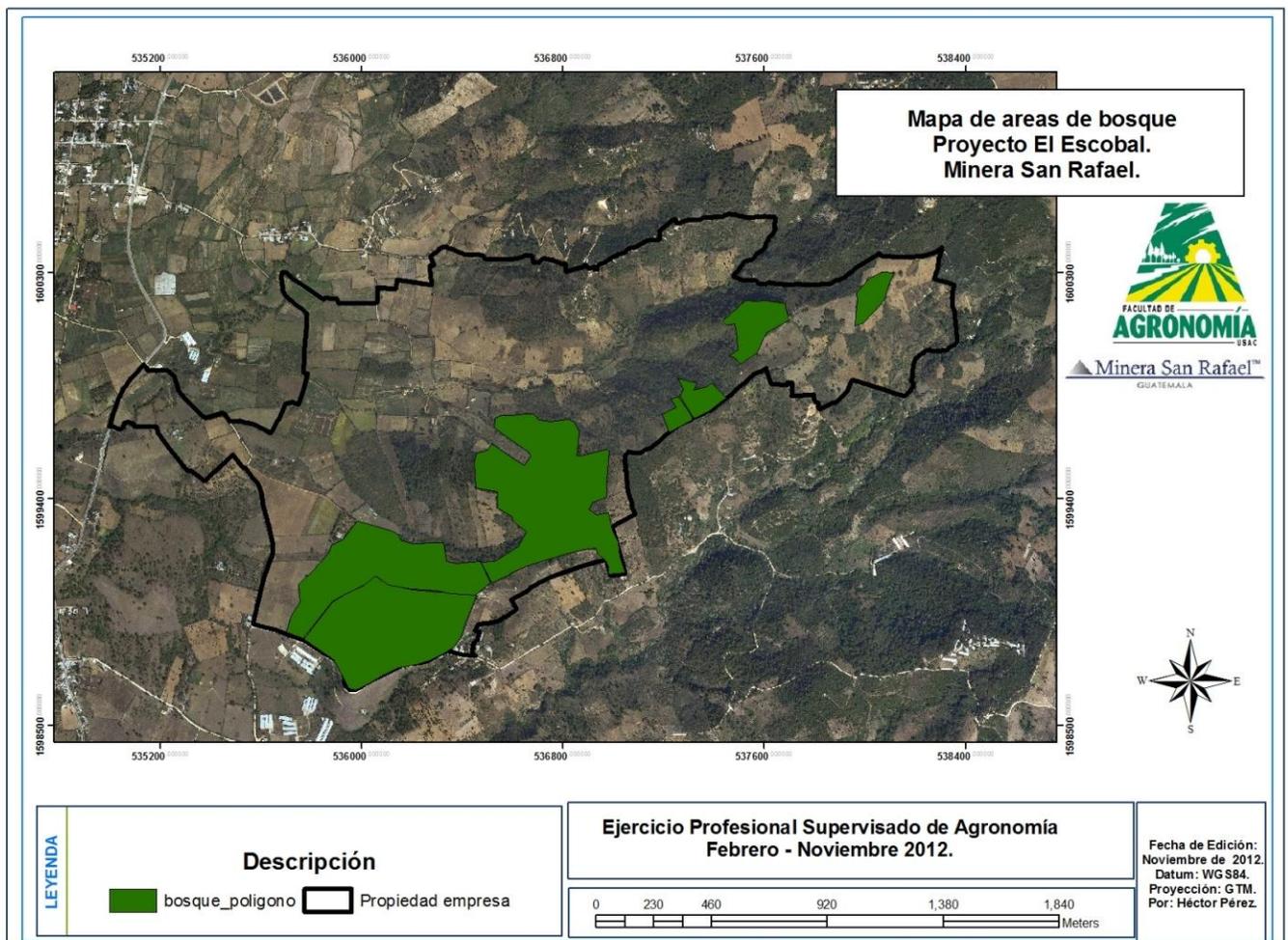
Debido a la ubicación del proyecto El Escobal, su altura y sus características climáticas, el café es uno de los cultivos que mejor se adaptan a la región. Con el objetivo de conservar este cultivo y poder sacar provecho del mismo, se realizó una delimitación geográfica de las áreas cultivadas dentro del territorio de la empresa. Con distintas características como variedades de cultivo, variedad de sombra, distanciamiento de siembra y distintas etapas fenológicas, el café abarca 35 hectáreas de extensión. El mapa en la ilustración 1 presenta la ubicación de las distintas áreas con café, dentro de la propiedad de la empresa.



Figuras 8. Mapa de áreas con cultivo de café.

B. Área forestal.

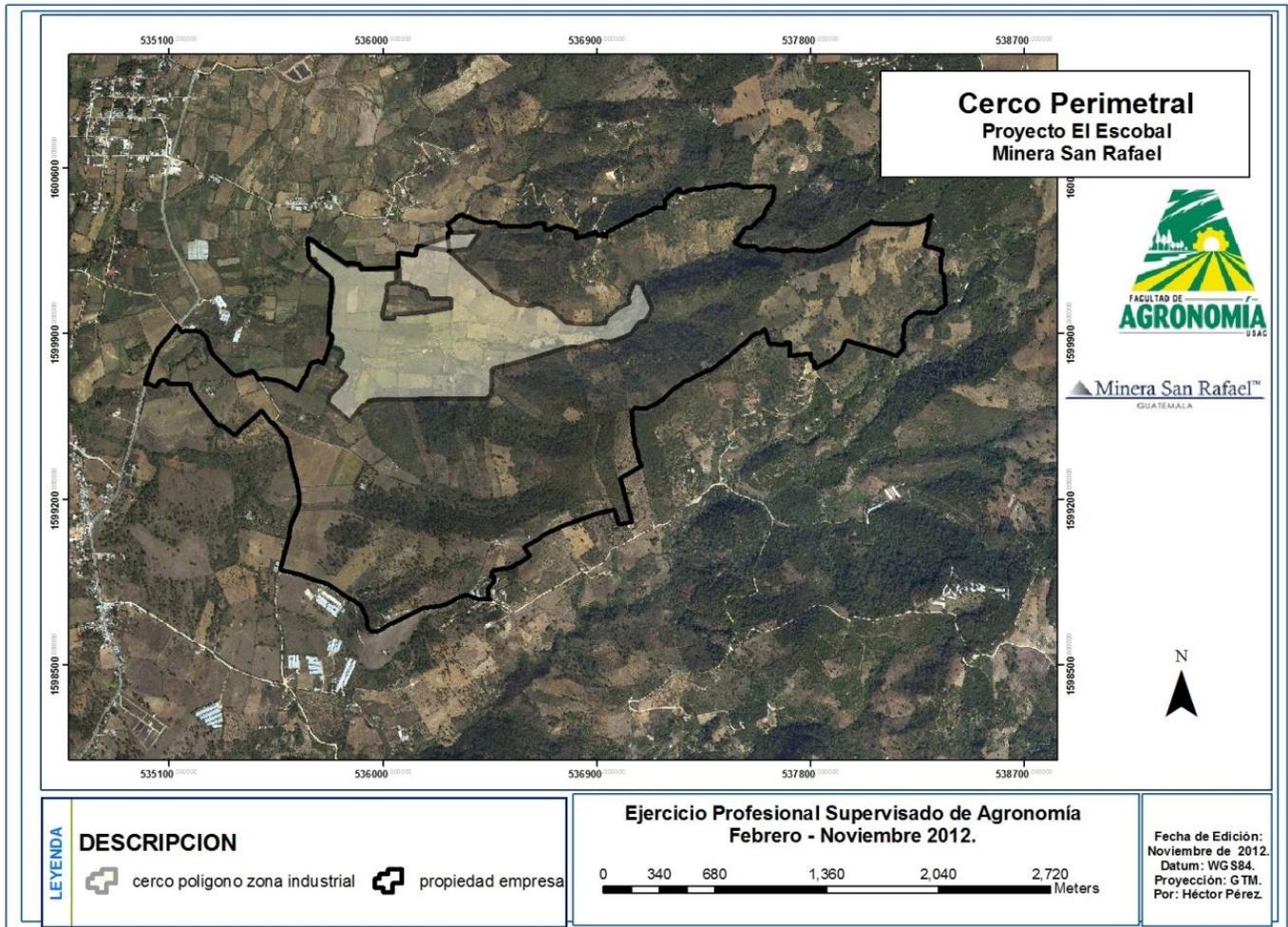
Las áreas de bosque que presenta el territorio de la Empresa Minera San Rafael S.A., son en su mayoría plantaciones antiguas de encino, pino y reforestaciones nuevas de pino y ciprés. La conservación y el manejo adecuado de las plantaciones forestales son realizadas por el departamento de Ambiente, dando importancia a la prevención de incendios forestales y al crecimiento de las reforestaciones más recientes. El área total de bosque es de 64 hectáreas.



Figuras 9. Mapa con áreas de bosque.

C. Delimitación de área industrial.

EL Proyecto Escobal de la Empresa Minera San Rafael, S.A. posee un área de zona industrial, en donde se encuentran oficinas, bodegas, talleres y son realizados los movimientos de vehículos pesados. El perímetro del proyecto está delimitado por un cerco de malla como medida de seguridad industrial.



Figuras 10. Mapa delimitación perimetral área industrial

3.2.5 Evaluación del servicio

A. Expectativas:

La marcación de puntos geo-referenciados al momento de realizar recorridos en las instalaciones de la empresa permitirá brindar información puntual y necesaria para la elaboración de mapas que posteriormente servirán para delimitar áreas a utilizar en diversas proyectos.

B. Impactos:

Los mapas de uso de tierras permitieron determinar a detalle la dimensión de áreas de interés forestal, agrícola e industrial. Estos mapas sirven de base para la elaboración de mapas subsiguientes en los cuales se puede detallar la presencia de trabajos industriales como pozos de captación de agua, pozos de exploración y ubicación de zonas de trabajo industrial temporales.

3.3 Servicio II

Elaboración de plan de manejo para áreas cultivadas con café.

3.3.1 Introducción

Minera San Rafael es una empresa que se dedica a la exploración y explotación de minerales de interés económico, mineral que se encuentra por debajo de plantaciones agrícolas y forestales cultivadas por antiguos propietarios. Comprometidos con la conservación de estas plantaciones, para Minera San Rafael es de suma importancia el mantenimiento y aprovechamiento de estos cultivos. Dentro de los límites de propiedad, la empresa Minera San Rafael, S.A., posee aproximadamente 35 hectáreas cultivadas con café con un alto potencial productivo. Localizada en una zona naturalmente cafetalera, minera San Rafael planea dar un manejo integral al cultivo, rescatando la calidad del mismo y mantenimiento la cultura agrícola en la zona.

Es por esto que nace la idea de poder aprovechar dicho recurso, implementando técnicas de manejo como la realización de podas, fertilización, control de enfermedades y cosecha, obteniendo así una buena presentación de los cafetales y un ingreso extra a la empresa.

3.3.2 Objetivos

- Proponer un plan general de manejo del cultivo de café.
- Proporcionar un material con herramientas técnicas para al mantenimiento del cultivo.

3.3.3 Metodología

- Se realizó una delimitación de lotes con cultivo de café.
- Se procedió a la revisión de los lotes de café por medio del método observación directa.
- Se llevó a cabo el manejo agrícola con medidas de remediación inmediata en caso necesario.
- Se realizó un documento escrito detallando el plan de manejo del cultivo de café.

3.3.4 Resultados

A. Plan del manejo anual, cultivo de café

Enero

Cuidados culturales y control fitosanitario del almacigo. Asegurarse que durante la recolección del fruto en campo (cosecha), sean seleccionados los frutos que hayan alcanzado su plena madurez fisiológica, es decir, sin verdes ni medio maduros.

Programar con anticipación la poda del café y el ahoyado para las siembras y resiembras de este año.



Figuras 11. Selección de frutos maduros (Pérez, 2012).

Febrero

Preparar el lugar donde se instalará el almacigo de acuerdo a si este se establecerá al suelo o si se utilizaran bolsas de polietileno negro. Se recomienda utilizar bolsa de 5 pulgadas de ancho, 10 pulgadas de alto, y 3 milímetros de espesor. Recolectar la semilla para almacigo, (si se va utilizar semilla del área), buscarla en los mejores lotes y en las mejores plantas, recordando siempre cortar los frutos en la parte intermedia de la bandola y en la parte media de la planta, (granos grandes, sin imperfecciones, humedad del grano de un 15% para evitar problemas de germinación). Mantener un constante monitoreo de las principales plagas y enfermedades que afectan al café en todos los lotes de la finca. Realizar los muestreos respectivos para determinar la incidencia de la broca del café. Realizar la instalación de trampas para broca de café y verificar que los goteros de las trampas tenga la mezcla de alcoholes (atrayentes de la broca) o, de lo contrario, llenarlos nuevamente. Iniciar con la ejecución del programa fitosanitario. Al concluir con el corte de café, comenzar con podas al café por lote y al mismo tiempo realizar prácticas de desombreado. No descuidar el control de malezas previo a realizar prácticas de desombreado y podas.

Marzo

Elaboración de los semilleros, asegurándose de seleccionar la semilla adecuada a las condiciones climáticas y edafológicas. Realizar eficientemente la desinfección y desinfestación del suelo donde se realizará el semillero. Utilizando arena pómez y tierra cernida con tamiz fino, para que el desarrollo de la raíz no tenga inconvenientes. Preparar los materiales para el almacigo en bolsas y/o suelo. Desinfectar y desinfestar el suelo y si el almacigo será en bolsa, colocar hileras de no más de tres bolsas. Asegurarse que durante la cosecha no se dejen granos en las bandolas y en el suelo, para evitar que sean utilizados como hospederos por la broca del café y le afecten en el siguiente periodo. Realizar el muestreo de suelos con fines de fertilidad. Enviar las muestras de suelos al laboratorio para su análisis e interpretación. Realizar aspersiones foliares programadas con el fin de corregir y/o prevenir deficiencias de elementos menores en las plantaciones, y así mismo preparar la planta para la época de floración. Monitorear la incidencia de las principales plagas y enfermedades de verano, tales como el minador y cochinillas del café e iniciar un programa fitosanitario. Realizar el control biológico de la broca del café, liberando parasitoides.

Implementar el control de la broca, elaborando sus propias trampas, colocando doce de las mismas por manzana. A los ocho días recolectar la broca capturada y cambiar la mezcla de agua con jabón y alcohol. Consolidar e integrar el equipo de plagueros, para mantener un buen control de la presencia y desarrollo de las principales plagas y enfermedades. Esto permitirá que el programa preventivo y/o curativo se ejecute en el momento más oportuno, mejorando la eficiencia del programa fitosanitario.



Figuras 12. Semillero y primer brote. (Pérez, 2012)



Figuras 13. Muestreo de suelos. (Pérez, 2012).

Abril

Continuar con los cuidados culturales del almacigo. Realizar las fertilizaciones disueltas al suelo con las formulas 20-20-0, 16-20-0, 18-46-0, 10-50-0 u otras con alto contenido de fosforo. Verificar que el suelo de las bolsas esté húmedo. Establecer o continuar con las podas para mantener el tejido productivo. Basado en los resultados y recomendación del laboratorio de suelos, elaborar el programa de fertilización para las plantaciones. Realizar el muestreo de raíces y enviarlos a laboratorio para la detección de plagas, nematodos o enfermedades que afectan la raíz del café. Recordar la aplicación de fertilizantes foliares post-floración con elementos menores, para evitar la caída de flores en la planta, siguiendo el programa de aspersiones foliares.

Iniciar el trabajo de trazo, ahoyado y estaquillado para repoblaciones, renovaciones y siembras nuevas. Hacer reparación de carreteras y cunetas para el ingreso del invierno



Figuras 14. Planta con floración en botón. (Pérez, 2012).



Figuras 15. Aplicación de fertilizante foliar. (Pérez, 2012).

Mayo

Realizar las fertilizaciones de acuerdo con los resultados del análisis de suelos. Continuar con la regulación, siembra y resiembra de la sombra definitiva. Inicie la siembra del almacigo en campo definitivo, tanto para siembra nueva y resiembra como para repoblaciones. Llevar registros de las fechas de floración. Programar un muestreo de broca 75 a 90 días después de la floración más representativa. En esta época, este insecto puede ser ubicado en el ombligo (canal de penetración de la broca), del fruto del café. No descuidar el control de malezas en plantaciones establecidas. Realizar el deshije de las recepas efectuadas este año y un re-des-hijado al resto de las plantaciones. Darle prioridad a la selección de brotes robustos, sanos y bien colocados en la planta.



Figuras 16. Proceso de deshijado en café. (Pérez, 2012).

Junio

Finalizar la regulación, siembra y resiembra de la sombra definitiva. Continuar con la fertilización de las plantaciones de acuerdo con los resultados del análisis de laboratorio. Continuar con el deshijado de las podas, eliminando todos los brotes de crecimiento vertical de las plantas adultas. Control fitosanitario del almacigo y aplicación de fertilización. Mantener control y regulación sobre la sombra del almacigo. Realizar caminamientos sobre áreas establecidas para control de malezas, plagas y enfermedades.



Figuras 17. Desmalezado y deshijado. (Pérez, 2012).

Julio

Verificar el programa de fertilización para aplicaciones foliares y/o al suelo. Mantener control sobre malezas. Finalizar las siembras de almacigo en el campo definitivo, tomando en cuenta los efectos negativos que pueda causar la canícula en los cafetales.

Agosto

Verificar labores culturales no concluidas o no realizadas en meses anteriores, como descombrado, control de malezas, mantenimiento a carreteras, cercos, o barreras contra viento.

Septiembre

Continuar con el control fitosanitario, control de malezas y almacigo; de acuerdo a programas establecidos. Realizar caminamientos de control y verificación de plantaciones.

Octubre

Realizar caminamientos para observar posibles frutos maduros y su recolección. Programar la llegada de cuadrillas para el corte de café. Asegurarse que durante la cosecha sean seleccionados los frutos que hayan alcanzado su plena madurez fisiológica, es decir, sin verdes ni medio maduros. Utilizar la pulpa como abono orgánico. Terminar de fertilizar sus plantaciones de acuerdo a los resultados de análisis de suelos.



Figuras 18. Planta con granos maduros de café. (Pérez, 2012)

Noviembre

Continuar con los cuidados culturales y el control fitosanitario del almacigo. Recolección de grano maduro (cosecha).



Figuras 19. Aplicación de fertilizante foliar.

Diciembre

Continuar con los cuidados culturales y el control fitosanitario del almacigo.

Recolección de grano maduro (cosecha). Realizar caminamientos para verificar áreas con posibles podas para el año siguiente. De acuerdo a condiciones de la plantación post-cosecha, implementar medidas de recuperación de plantaciones, para evitar que las plantaciones decaigan.

3.3.5 Evaluación del servicio

A. Expectativas e impacto:

El plan general de manejo del cultivo de café es una herramienta que detalla los lineamientos necesarios para el cuidado y mantenimiento del cultivo. Mejorar la productividad y presentar cafetales en buenas condiciones, permitirá demostrar que Minera San Rafael es una empresa profesional que apoya la agricultura tradicional y la conservación de un cultivo importante para Guatemala. Con esta herramienta, el departamento de Ambiente tendrá la capacidad de elaborar semilleros, darle cuidado a almacigos, planear aplicaciones de fertilizantes, dar mantenimiento a labores culturales, y cosechar un producto de buena calidad entre otros.

3.4 Servicio III

Elaboración de plan de manejo forestal

3.4.1 Introducción

El establecimiento de plantaciones forestales se refiere al conjunto de actividades que se realizan cuando se está renovando una masa forestal, a través de la colocación directa de plántulas de una especie de interés particular en un área determinada.

El éxito de las plantaciones que desea establecer cualquier productor, está sujeto a la decisión inicial de los objetivos planteados y la adecuada planificación para conseguirlos, de tal forma que sean concordantes con lo propuesto y con las condiciones que presenta el medio donde se plantará. Así mismo, existen otros aspectos que debe considerar un productor al momento de establecer una plantación, tales como la selección del sitio, la especie más adecuada a las condiciones de clima y suelos, la habilitación y preparación del terreno, las labores y cuidados culturales pre y post plantación, la calidad de las plantas y la época y técnica de plantación (García et al., 2012).

Minera San Rafael es una empresa que se dedica a la extracción y explotación de material mineral, pero posee una gran extensión territorial con vocación forestal, la cual necesita ser asistida para mantenerla en óptimas condiciones.

3.4.2 Objetivos

- Proponer un plan de manejo forestal para los Bosques de protección ubicados dentro de los límites de la propiedad.
- Elaborar un documento que contenga las especificaciones necesarias para un manejo forestal.

3.4.3 Metodología

- Se realizó la delimitación de lotes con bosques de protección.
- Se efectuó una inspección visual en campo para conocer el estado actual de los lotes de carácter forestal.
- Se procedió a la realización de un documento escrito en el cual se detallan las actividades y mecanismos de recuperación y mantenimiento de las zonas forestales.

3.4.4 Resultados

A. Planificación del cultivo

Cada lugar o sitio tiene una aptitud productiva que permite definir usualmente los terrenos con aptitud agrícola, ganadera y forestal de acuerdo a las características físicas y químicas que el suelo posee, así como las condiciones de disponibilidad de agua, clima y topografía en las que se encuentran dicho recurso. Cuando las tierras son usadas de forma inadecuada y con formas de ocupación que exceden su capacidad de uso se pierde la productividad del suelo e inicia la degradación del mismo.

De tal manera, que al planificar el uso de una superficie terrestre, es necesario considerar dicha capacidad de uso de la tierra, de tal modo que se asegure la productividad y que esta sea sostenible.

Según (García et al., 2012), cuando se pretende establecer una plantación, es necesario planificarla cuidadosamente y considerar todos los aspectos que esto conlleva, dichos aspectos son los siguientes:

- Objetivo de la Plantación. Estos pueden ser comerciales, protección y conservación de especies de flora y fauna, investigación, entre otros. La definición de cualquiera de ellas exige que las especies a utilizar, la densidad de plantación, mercado y las actividades a realizar, sean las más apropiadas.
- Estudio físico del lugar. Este aspecto considera la determinación de la superficie útil que se destinará a la plantación considerando características físico-químicas del

suelo, disponibilidad de agua, y que estos sean congruentes con los requerimientos de la especie a plantar.

- Elección de la especie. Esto se realiza en función de los objetivos de la plantación y de las condiciones edafo-climáticas existentes en la zona, ya que una mala elección de la especie puede afectar el rendimiento de la plantación, la calidad de los productos, la protección y conservación del suelo.
- Diseño de la plantación. Esta actividad va enfocada a la realización de un mapa de rodales o potenciales rodales para el aprovechamiento final.
- Normativa Legal. Se deben considerar los estatutos legales que rigen la actividad forestal del país, así como la Ley Foresta, que regula la actividad forestal en suelos de aptitud preferentemente forestal e incentiva la forestación.



Figuras 20. Aplicación de fertilizante en vivero. (Pérez, 2012)

B. Establecimiento

El adecuado establecimiento de una plantación considera una serie de etapas o actividades orientadas a modificar el sitio hacia una mejor condición de suelo y mejoramiento de factores limitantes, de tal forma de concentrar los recursos disponibles para favorecer el crecimiento inicial, sobrevivencia y desarrollo posterior de la planta. (García et al., 2012).

- Habilitación del Terreno. El objetivo de esta etapa es obtener un terreno limpio para que las plantas puedan establecerse y crecer adecuadamente, además de facilitar las labores de plantación. Esta actividad consiste en las actividades:

- Limpia. Esta consiste en la limpieza que es necesaria llevar a cabo cuando existe cubierta vegetal arbórea, arbustiva o de malezas que puede afectar el futuro desarrollo de la plantación y que pudiera dificultar la plantación.
- Remoción y tratamiento de desechos. En dicha actividad consiste en ordenar y/o eliminar los desechos que se originan en la actividad anterior de tal forma que despejar el espacio que ocuparán las plantas y facilitar las posteriores actividades silvícolas.



Figuras 21. Habilitación de terreno para plantación. (Pérez, 2012).

- Preparación del Terreno. Con esta actividad se pretende dejar el suelo en condiciones tales que permita una mayor retención de agua, que las raíces puedan extenderse y desarrollarse con facilidad, y promover el desarrollo de un mejor sostén de la planta y permitir un mayor aprovechamiento de los nutrientes contenidos en el perfil. Favorece a su vez, la penetración del agua y el aire a mayor profundidad, además de un mejor control de malezas, arbustos y otros (Larraín, 1993). Es preferible que esta actividad se realice en períodos secos, cuando exista un bajo contenido de humedad en el suelo, lo que permite prevenir procesos como compactación y remoción excesiva.
 - Preparación mecanizada. Se realiza una remoción del suelo con maquinaria pesada, este método presenta las limitantes de pendientes, pedregosidad, vegetación presente indeseable y obstáculos naturales del terreno.
 - Preparación con animales. Este consiste en el uso de arado tirado por caballos, bueyes o burros, para la confección de surcos en curvas de nivel. Este tiene el

inconveniente de la profundidad del surco, que usualmente no alcanza más allá de 30cm pero, es una buena alternativa para controlar procesos erosivos.

- Preparación manual. Consiste en la utilización de mano de obra y herramienta manual.

La preparación del suelo mejora el intercambio gaseoso e incrementa la capacidad de almacenamiento de agua, pudiendo la planta utilizar en mejor forma ciertas características del suelo.



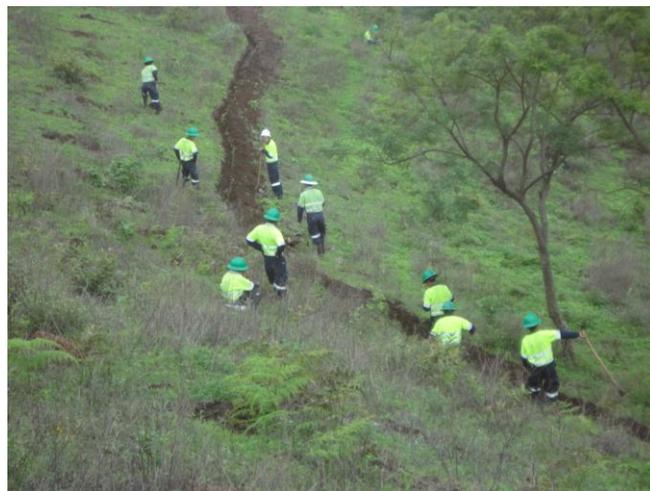
Figuras 22. Preparación de suelo. (Pérez, 2012)

- Control de malezas pre-plantación. Para esta actividad se pretende eliminar o remover todo aquel material vegetal o arbustivo que pueda ser competitivo con la especie que se está plantando. Además, es el tratamiento más simple e importante en el establecimiento de especies, especialmente en aquellas de rápido crecimiento afectando la sobrevivencia y crecimiento en altura y diámetro de las plantas. El control de malezas puede realizarse en forma mecánica, manual o química (García et al., 2012).



Figuras 23. Aplicación de insecticida al suelo. (Pérez, 2012)

- Control mecanizado. Se puede realizar a través del despeje que se efectúa con subsolado, arado, cincelado y rastraje.
- Control manual. A través de mano de obra con herramientas manuales o máquinas. Aunque el control tiene efecto directo sobre las malezas ya instaladas y de hoja visible, no impide la reaparición de éstas uno o dos meses después.
- Control químico. Es el método más usado y se puede realizar a través de alternativas aéreas, terrestres con equipos de uso agrícola y con bombas de mochila en situaciones de mayor pendiente. La época de aplicación dependerá de la época de plantación y de la germinación o aparición de malezas; se realiza unos 15 días a un mes antes de ejecutarse la plantación.



Figuras 24. Elaboración de cunetas. (Pérez, 2012)

- Selección de la planta. Uno de los aspectos importantes a considerar, una vez preparado el sitio de plantación, es la condición de la planta a utilizar, lo que garantiza la calidad del bosque a futuro. En la actualidad la producción de plantas tiende a efectuarse de diferentes formas: en bolsa, en tubete o a raíz desnuda. El uso de cualquiera de estos métodos de producción depende de la preferencia del reforestador. Es importante mencionar que la selección del método de producción ofrecerá mayores beneficios en el cuidado y manipulación tanto en el lugar de producción como en el traslado hacia la plantación. (García et al., 2012).



Figuras 25. Vista del vivero de ciprés. (Pérez, 2012)

- Plantación. Es la acción de forestar o reforestar, es decir la colocación de las plántulas en el suelo. Es importante realizar esta actividad en la forma y época adecuada. (García et al., 2012).
 - Época de plantación. Para lograr un buen prendimiento y porcentaje de supervivencia es necesario realizar la plantación en la época adecuada considerando las condiciones edafo-climáticas del lugar y los requerimientos de la especie. El suelo debe encontrarse húmedo/friable, y además deben existir expectativas razonables de precipitaciones posteriores a la plantación. La plantación no debe realizarse durante un período de tiempo seco, ya que se evita el posterior marchitamiento de las plantas.
 - Densidad de plantación. La determinación de la densidad de plantación depende del potencial productivo del sitio y del objetivo productivo que se persigue del bosque. Esta afectará directamente los costos de intervención

asociados al manejo, cuidados necesarios y protección posterior de la plantación, además del aprovechamiento y calidad de los productos finales.

- Técnica de plantación. Estas pueden realizarse en forma mecanizada y manual.
 - Plantación mecanizada: se realiza en aquellos terrenos planos o de pendientes moderadas. Aunque tiene la limitante de la pendiente, y por otra parte el difícil acceso a la maquinaria necesaria.
 - Plantación manual: no tiene restricción de pendiente por lo que puede hacerse en cualquier área.



Figuras 26. Pino trasplantado a campo definitivo. (Pérez, 2012)

- Embalaje y transporte. Para asegurar la plantación se debe evitar la excesiva manipulación de las plantas. En ese sentido, los viveros ubicados en la misma área a reforestar permiten el traslado directo de plantas, sin efectuar labores previas de embalaje y barbecho que ocasionan daños mecánicos y fisiológicos (García et al., 2012).
- Fertilización. Los beneficios que una adecuada fertilización puede generar son muchos al agregar los nutrientes faltantes, debido a que estimula el desarrollo de las raíces, permite a la planta una mayor ocupación del suelo, aprovechando en forma más eficiente el agua y los nutrientes disponibles. Así se logra una mayor supervivencia, un rápido crecimiento inicial y cierre de copas, lo cual disminuye o elimina la competencia, obteniéndose un rodal más uniforme y un mayor rendimiento al momento de la cosecha (García et al., 2012).



Figuras 27. Personal de campo, aplicación de agroquímicos (Pérez, 2012).

Cabe resaltar que, la fertilización es una práctica que necesariamente deber ser acompañada de una buena preparación del suelo y un adecuado control de malezas, de esta manera se podrán asegurar los máximos beneficios de la fertilización (García et al., 2012).

Los elementos químicos que formarán la base del fertilizante a utilizar, deberían ser determinados a través de análisis químico del suelo, y serán aquellos que se encuentren en cantidades restrictivas para la especie a plantar. La época de aplicación coincide con la época de plantación. Algunas veces la fertilización se realiza 2 a 3 semanas después de haber plantado, principalmente por razones operativas. La fertilización puede ser mecanizada o manual. (García et al., 2012).



Figuras 28. Fertilización en vivero forestal (Pérez, 2012).

- Fertilización mecanizada: se realiza con un sistema de chorro continuo aplicando altas dosis de fertilizante. Este método permite una mejor distribución del producto a lo largo de la hilera y en profundidad.
 - Fertilización manual: se realiza en hoyos o bandas cercanas a las raíces de las plantas, es un buen método de aplicación de fertilizante. La profundidad de aplicación es de 10cm para las plantas producidas a raíz desnuda, y 5 a 6cm para plantas producidas a raíz cubierta.
- Control de malezas post-plantación. El objetivo de esta actividad, es mantener a las plantas sin competencia de maleza el mayor tiempo posible, hasta que se establezcan y se cierre el dosel. Existen dos formas de controlar la maleza post-plantación: manual y química.
 - Control químico: la época de aplicación del control post-plantación, depende fuertemente del momento en que se haya realizado el control de malezas pre-plantación, de la estación del año en que ésta se ha llevado a cabo, de la época de plantación, y además de las germinación o aparición de malezas. Lo importante es usar el producto necesario y en la oportunidad requerida de acuerdo al criterio de mantener fuera la competencia de malezas.
 - Control manual: se realiza con mano de obra y con ayuda de herramientas. Esta actividad deber ser controlada puesto que el uso de herramientas cortantes en las cercanías de la planta y a una cierta profundidad pueden dañar las raíces. Es probable que el control de malezas en forma manual sea menos efectivo que la aplicación química, sin embargo, su uso debe considerarse en superficies menores, donde exista mano de obra disponible y donde el costo sea bajo.



Figuras 29. Control manual de malezas (Pérez, 2012).

- Riego. El objetivo es proveer de agua a las plantas frente a problemas de sequía que puedan existir en el sitio. Esta actividad debería realizarse como un tratamiento regular cuando el período seco es demasiado prolongado, entendiéndose como tratamiento regular, el proveer de agua a la plantación de manera de asegurar su sobrevivencia durante los dos primeros años. La cantidad y frecuencia del riego estará supeditado al sitio específico, la especie utilizada y a la magnitud del déficit hídrico producto de la sequía.



Figuras 30. Riego directo a plantación (Pérez, 2012).

- Podas y Raleos

Las podas y raleos, en plantaciones forestales, son consideradas como actividades importantes en el éxito de este sistema productivo, se consideran como “Tratamientos

Silviculturales Intermedios”, debido a que se llevan a cabo en la fase intermedia del cultivo de los árboles.

Según Vaides, 2005 (11), Uno de los objetivos de la ejecución de los tratamientos silviculturales intermedios, es la disminución de riesgos en las plantaciones, principalmente los siguientes:

Riesgos de manejo, Riesgos biológicos, Riesgos físicos.

- Riesgos de manejo: Estos se refieren principalmente a la planificación de la plantación, tomando en cuenta la necesidad que estas dos prácticas (podas y raleos) deben de efectuarse de manera paralela. Además es importante mencionar que, postergar la ejecución de un raleo, demoraría y reduciría el desarrollo de los árboles de mejor calidad, debido a que el crecimiento es compartido de igual manera con árboles no deseados dentro de la plantación.
- Riesgos biológicos: Dentro de estos riesgos, los más importantes son al momento de no ejecutarlos a tiempo, postergando el turno o el período de aprovechamiento de la plantación, obteniendo árboles con tamaños comerciales a mayor tiempo. Algo importante es también que la falta de estas prácticas, conlleva a que las plantaciones se vuelven más susceptibles a presencia de plagas y enfermedades.

También se puede agregar que en plantaciones con falta de raleos existe una mayor recesión de copas, entendiéndose esto, como la muerte de las ramas basales de la copa, y por consiguiente, disminuyendo el área foliar, encargada de la alimentación de los árboles.

- Riesgos físicos: Estos hacen referencia, principalmente, al período no adecuado de ejecución de los raleos, principalmente si estos se hacen demasiado tarde, donde se tienen árboles demasiados delgados, que al momento de ser entresacados, los remanentes se vuelven susceptibles a ser derribados por el viento.

También existe mucho material combustible en la parte baja y media del piso del bosque, conformado por las ramas basales que se secan de la copa, lo cual los hace muy susceptibles a los incendios de copa.

Raleo

Es una práctica silvicultural, que consiste en reducir el número de árboles en una plantación forestal, con el objetivo de concentrar el mayor crecimiento en los mejores individuos, los cuales no presentan defectos de forma, enfermedades, crecimientos bajos, entre otros.

La cantidad de raleos que se lleven a cabo en una plantación dependerá del objetivo final de esta, basado en el tipo de producto a obtener. Como ejemplo podemos mencionar, si nuestro objetivo es la producción de biomasa, requeriremos de pocos raleos, porque lo que necesitamos es cantidad de volumen sin ninguna dimensión prevista.

Por el contrario si necesitamos producir madera de calidad, tendremos que programar un número de raleos que nos permita llegar a la corta final, con el número ideal de árboles, con las dimensiones necesaria para la producción. En algunos casos para la producción de madera, se recomienda dejar en buenos sitios, hasta un máximo de 250 árboles por hectárea en la cosecha final.

C. Protección contra incendios forestales

Proteger de los incendios las áreas forestales con el fin de evitar graves deterioros de los ecosistemas y la consecuente contaminación es una medida de cuidado y conservación del medio ambiente.

Un incendio forestal es un fuego que, cualquiera sea su origen y con peligro o daño para las personas, el medio ambiente o la propiedad y bienes materiales, se propaga sin control en terrenos rurales a través de vegetación leñosa, arbustiva o herbácea, viva o muerta. En su propagación un incendio forestal no sólo quema árboles, matorrales y pastos. También puede destruir viviendas e instalaciones de todo tipo; causar pérdidas en cosechas y ganado y, lo más lamentable, ocasionar la muerte de personas en sus viviendas o de quienes combaten al fuego.

Un tiempo después del incendio, en el corto o en el largo plazo, otros efectos indirectos serán notorios, entre ellos la erosión del terreno por efecto de la lluvia al caer sobre el suelo sin

vegetación protectora, la pérdida del hábitat para la fauna, menor valor y belleza escénica, etc.

Existen incendios forestales de origen natural y por causas humanas. Los primeros, a diferencia de otras áreas del mundo donde el fuego natural es parte de desarrollo de cierta vegetación, son muy escasos en nuestro país y se originan por la caída de rayos en tormentas eléctricas sin lluvia. Los segundos son incendios forestales originados por el ser humano, ya sea por descuido, desconocimiento o intencionalmente.

Prevención de incendios forestales

Es el conjunto de actividades realizadas para evitar que las personas inicien incendios forestales y, en el caso que se inicien, para reducir su daño. Estas actividades se orientan tanto hacia el riesgo de incendios forestales, definido como la probabilidad que la población, dependiendo de su presencia y conducta, inicie un incendio forestal, como hacia el peligro de incendios forestales, es decir las condiciones ambientales que permitirán que se inicie y propague el fuego ocasionado por alguien. Esas condiciones ambientales son la presencia de vegetación que pueda arder, o sea el combustible, las condiciones meteorológicas y la topografía. La más importante es el combustible.

Ambos, el riesgo (las personas) y el peligro (el combustible), al interactuar entre ellos en mayor o menor presencia, como si fuera una multiplicación, dan por resultado pocos o muchos incendios forestales y, a su vez, pequeños o grandes. Pero si uno de ellos fuese cero, entonces no se produciría un incendio.

Educación

Con actividades educativas se trata de divulgar un mensaje sobre el uso racional del fuego.

El objetivo es intensificar estas acciones durante la época en que no hay el peligro de incendios (estación lluviosa), llevar a cabo charlas en los diferentes departamentos de la empresa.

D. Recomendaciones para la población en general

No encienda fogatas durante Febrero, Marzo, Abril, Mayo. En cualquier caso se deben de apagar perfectamente, así como los cerillos y cigarros; y no tirarlos por las ventanillas de los vehículos.

Solo encienda fuego en lugares donde exista autorización y acondicionados para ello. Tenga mucho cuidado al apagarlo, asegúrese que no quede ningún brasa que lo pueda reavivar.

En caso de existir condiciones meteorológicas que favorezcan la propagación de incendios forestales, no encender fuego en el campo sin importar la finalidad.

En caso de observar un incendio forestal, dar aviso lo más rápido posible a alguna de las instancias que atienden emergencias, Bomberos, Policía Municipal, CONRED (Coordinación Nacional para la Reducción de Desastres), y el SIPECIF (Sistema Nacional de Prevención y Control de Incendios Forestales); procurando dar la ubicación del incendio lo más exacta posible.

No se acerque a extinguir un incendio forestal si no tiene la capacitación y entrenamiento.

Tampoco arroje basura o residuos sólidos ya que algunos de éstos podrían actuar como desencadenantes del fuego como vidrios, plásticos, cerillos, juegos artificiales no usados, solventes, pintura, etc.

Nunca queme la basura o residuos sólidos en el bosque.

No arroje vidrios a zonas boscosas. Ya que se convierten en lupas por lo que con los rayos del sol encienden el combustible (vegetación seca y/o verde) que se encuentra en el bosque, siendo un riesgo inminente.

Denuncie a las personas que provoquen intencionalmente incendios forestales, a las autoridades.

A. Herramientas indispensables para el combate de un incendio forestal

- Mcleod: sirve para cortar pequeñas raíces, raspar el suelo, remover vegetación.
- Machete: sirve para la limpieza de pastos, matorrales y desramar.
- Rastrillo: sirve para cortar raíces pequeñas, arrastrar ramas y hojas, raspar, remover brasas.

- Pala: sirve para cavar, lanzar tierra para eliminar el fuego, cortar raíces y ramas delgadas.
- Mata fuego: sirve para eliminar el fuego en forma directa.
- Azadón: sirve para raspar, hacer trincheras o surcos y cortar raíces pequeñas.
- Bomba de agua: se usa para combatir el fuego en forma directa o humedecer la vegetación.
- Pulaski: sirve para cortar ramas, raíces y árboles, también para raspar.

B. Control de incendios forestales

Línea de control: es el conjunto de barreras naturales y construidas así como los bordes extinguidos del fuego que se utilizan para controlar un incendio.

Ronda: es la parte de la línea que es construida durante el incendio, o en forma de prevención. Es también conocida con el nombre de guardarraya o brecha.

Principios fundamentales para definir donde construir la ronda:

- Ubicar la ronda cerca del borde del incendio, para evitar que se quemé muchas más vegetación. En caso que el incendio se dispersa rápidamente, ubicar la ronda lejos del incendio, esto permitirá trabajar más seguro.
- Toda ronda debe de anclarse iniciándose en un punto y terminándose en otro punto, para que el fuego no se escape.
- Evitar la construcción de la ronda cuesta abajo del incendio, esto evitará quedar atrapado entre el fuego.
- Si hay que establecer una ronda en el fondo de una quebrada es mejor ubicar la línea un poco arriba del lado opuesto del incendio, ya que el fuego en estas zonas tiende a acelerarse y el trabajo se pierde.
- Realizar la ronda tan cerca y recta como sea posible, esto ayudará a economizar tiempo y energía.
- Aproveche las barreras existentes que detengan el fuego.
- Construir las rondas en áreas abiertas con poco combustible; requerirá menos trabajo.

Formas de construir la ronda:

- Asignación individual: a cada persona se le asigna una sección de la ronda a construir y él tiene que vigilarla y lograr que el fuego no pase.
- Alterno: a cada persona se le asigna un corto trecho de la ronda por construir. Cuando termina el trecho asignado sobrepasa a la cuadrilla, poniéndose a la cabeza de este y construyendo un nuevo trecho.
- Progresivo: la ronda se construye por etapas y todos los integrantes participan. los primeros abren el paso aclarando la línea, los segundos raspan y caban; y los últimos vigilan y sostienen la línea.

Formas de apagar un incendio forestal

- Ataque directo:

Consiste en establecer una línea de defensa en el borde mismo del incendio actuando directamente sobre las llamas y el combustible cercano a ellas.

El ataque directo debe realizarse cuando: el incendio está iniciando, en focos pequeños, cuando hay poca vegetación, cuando el fuego es lento y las llamas no son altas, y cuando existe poco humo.

- Ataque indirecto:

Consiste en alejarse totalmente del fuego y construir una línea de defensa en un lugar apropiado, aprovechando las condiciones favorables que presentan el terreno y el combustible.

El ataque indirecto debe realizarse cuando: el calor y el humo no permite trabajar, cuando hay mucha pendiente en el terreno, cuando hay mucha vegetación, el borde es muy irregular, cuando hay mucho viento y el fuego se propaga muy rápido.

- Cortafuegos

Consiste en crear un fuego desde una línea de defensa, con el propósito de que el fuego creado avance hacia el fuego principal y al unirse se apaguen.

- Liquidación

Es la tarea de extinguir por completo un fuego o eliminar los puntos calientes o restos de material con pequeñas llamas de fuego. Este se realiza cuando ya fue controlado el incendio y haya posibilidades de que el fuego rebrote.

3.4.5 Evaluación del servicio

Expectativas e impacto:

Realizar un plan de manejo forestal para el departamento de ambiente cumplirá con la necesidad de tener información técnica sobre los cuidados que un área forestal necesita. La responsabilidad de mantener bajos los niveles de conatos de incendios forestales y evitar los mismos es alta, por lo cual tener un documento en el cual el departamento de ambiente pueda basarse es de suma importancia. Transmitir esta información con el personal operativo del departamento ayudará a mantener controladas las zonas de riesgo de incendios, y permitirá aprovechar el recurso forestal en su debido momento.

3.5 Conclusiones

La realización del ejercicio profesional supervisado EPS de la Facultad de Agronomía, fue una experiencia muy enriquecedora para mi persona, y el aporte realizado en el departamento de ambiente fue básicamente en poner a disposición las ideas, inquietudes y conocimientos adquiridos durante la carrera.

La delimitación de áreas y generación de mapas del uso actual de tierras, servirá al departamento de ambiente como base para la elaboración de nuevos mapas detallando diversos proyectos que puedan emprender como empresa en los próximos años.

El potencial agrícola y forestal que posee la finca El Escobal es grande, por lo que serán de gran valor los planes de manejo forestal y cultivo del café, realizados como servicios durante el ejercicio profesional supervisado. Estos documentos permitirán aprovechar al máximo los recursos que actualmente posee la finca, dando un valor agregado al trabajo que arduamente realiza el departamento de ambiente.

El departamento de Ambiente posee personal capacitado para la realización de todas las actividades que les corresponden como departamento, por lo que el aporte brindado por medio de los documentos de servicios, ayudará al desarrollo de las actividades en los próximos años.

3.5.1 Bibliografía

- Alfaro, MA; Acuña, AA; Masís, WM. 2005. Técnicas básicas para el control de Incendios Forestales. Costa Rica. San José. Oficina de Asistencia para Desastres en el Exterior. Sistema Nacional de Prevención y Control de Incendios Forestales SIPECIF. Guatemala. 36 p. Consultado 20 jun 2012. Disponible en: http://www.conred.gob.gt/documentos/secretaria-ejecutiva/Curso_TBCIF.pdf
- García, E; Sotomayor A; Silva, S.; Valdebenito, G. 2000. Establecimiento de plantaciones forestales, *Eucalyptus* sp. (en línea). Chile, Instituto Forestal, Fondo de Desarrollo e Innovación. 34 p. Consultado 8 jun 2012. Disponible en: http://www.agroforesteria.cl/agroforesteria/publicaciones/doc_download/25-establecimiento-de-plantaciones-forestales-eucalyptus-sp.html
- Guzmán Sánchez, GE. 2006. Contribución a las mejoras y al mantenimiento del Parque Nacional Naciones Unidas, Amatitlán. Guatemala, Escuela Nacional Central de Agricultura (ENCA). 58 p.
- INAB (Instituto Nacional de Bosques, GT). Manejo de plantaciones forestales, practicas silviculturales intermedias, podas y raleos en plantaciones de coníferas. Guatemala. 25 p.