



UNIVERSIDAD ANDINA
NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
ESCUELA DE POSGRADO
DOCTORADO EN CIENCIAS E INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL



**ANÁLISIS DE LA TÉCNICA DE LA ADICIÓN DE LA UREA
EN LA REMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS
POR HIDROCARBUROS DE LA CIUDAD
DE JULIACA - 2022**

TESIS PRESENTADA POR
EDWIN PARILLO ESCARSENA

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:
DOCTOR EN CIENCIAS E INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL

JULIACA – PERÚ
2024



UNIVERSIDAD ANDINA

NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

ESCUELA DE POSGRADO

DOCTORADO EN CIENCIAS E INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL

**ANÁLISIS DE LA TÉCNICA DE LA ADICIÓN DE LA UREA
EN LA REMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS
POR HIDROCARBUROS DE LA CIUDAD
DE JULIACA - 2022**

TESIS PRESENTADA POR

EDWIN PARILLO ESCARSENA

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

DOCTOR EN CIENCIAS E INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL

APROBADA POR:

PRESIDENTE DEL JURADO

: 
Dr. OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA


MIEMBRO DEL JURADO

: 
Dr. EFRAÍN PARILLO SOSA

MIEMBRO DEL JURADO

: 
Dr. LEONEL SUASACA PELINCO

ASESOR DE TESIS

: 
Dr. RAMIRO AMILCAR BOLAÑOS CALDERÓN

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

: CONTAMINACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL – P67



RESOLUCIÓN DIRECTORAL N° 178-2024-D-EPG-UANCV/J

Juliaca, 11 de julio del 2024

VISTOS:

El expediente N° 2024-06420 presentado por el (a) Mgr. **PARILLO ESCARSENA EDWIN**, con número de DNI. **45648306** y con número de matrícula **1610190573**, del **DOCTORADO** en **CIENCIAS E INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL**, de la Escuela de Posgrado de la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" de la Sede Central Juliaca.

CONSIDERANDO:

Que, el (a) Mgr. **PARILLO ESCARSENA EDWIN**, con número de DNI. **45648306**, asignado (a) con número de matrícula **1610190573**, del **DOCTORADO EN CIENCIAS E INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL** de la Escuela de Posgrado, ha solicitado fecha, hora y modalidad de sustentación, de la Tesis titulada: **ANÁLISIS DE LA TÉCNICA DE LA ADICIÓN DE LA UREA EN LA REMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS POR HIDROCARBUROS DE LA CIUDAD DE JULIACA - 2022** La misma que pertenece a la Línea de Investigación: **CONTAMINACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL - P67** y;

Que, el (a) referido (a) Dictamen de Tesis aprobado por los jurados el 27 de junio del 2023. Establece la fecha de sustentación; habiendo para el efecto cumplido los requisitos establecidos en el reglamento para la Obtención del Grado Académico de Magíster/Maestro y Doctor de la Escuela de Posgrado de la UANCV;

Que, en el Artículo 66 del Reglamento General de la Escuela de Posgrado de la UANCV, establece que la sustentación de Tesis de Postgrado es un trabajo de investigación original y crítico, de actualidad y de alto valor científico;

En uso de las atribuciones conferidas a la Dirección en el inciso "J" del artículo 17° del Reglamento General de la Escuela de Posgrado, y el Art. 76 del Estatuto Universitario;

SE RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO. - DECLARAR EXPEDITO para la Sustentación de la Tesis titulado: **ANÁLISIS DE LA TÉCNICA DE LA ADICIÓN DE LA UREA EN LA REMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS POR HIDROCARBUROS DE LA CIUDAD DE JULIACA - 2022** Elaborado por el (la) Mgr. **PARILLO ESCARSENA EDWIN**. Integrado por los siguientes docentes:

- Presidente del Jurado** : Dr. **OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA**
- Miembro del Jurado** : Dr. **EFRAIN PARILLO SOSA**
- Miembro del Jurado** : Dr. **LEONEL SUASACA PELINCO**
- Asesor de Tesis** : Dr. **RAMIRO AMILCAR BOLAÑOS CALDERON**

ARTÍCULO SEGUNDO. - El proceso de la Sustentación de la Tesis en mención, se llevará a cabo:

- Fecha** : **Viernes 19 de julio del 2024**
- Hora** : **11:00 a.m.**
- Lugar** : **Aula N° 310 EPG - UANCV-JULIACA**

A cuya finalización el Jurado registrará los resultados en el Libro de Actas de Sustentación de Tesis de Doctorado con el grado de **DOCTOR** aprobado en la ley Universitaria N° **30220**.

ARTÍCULO TERCERO. - Elévese la presente Resolución al Rectorado, Vicerrectorado Académico, Vicerrectorado Administrativo y Oficina del Órgano de Inspección y Control para conocimiento.

Regístrese, comuníquese y Archívese.


 ESCUELA DE POSGRADO
 Dr. Loreto Velásquez Cárson Carr
 DIRECTOR (a)

Dc / Archiv EPG (01)
 Interesado (01)
 Cargo (01)
 Jurados (03)
 Asesor (01)
 Expediente (01)
 LWCC/Insv



RESOLUCIÓN DIRECTORAL N°0759-2024-USA-EPG/UANCV

Juliaca, 28 de Junio del 2024

VISTOS:

El expediente N°. **07326**, Presentado por el (a) **Mgtr. EDWIN PARILLO ESCARSENA**, con número de DNI **45648306** y con Código de matrícula N.° **1610190573**, quien solicita cambio del asesor del Proyecto de Tesis titulado: **ANÁLISIS DE LA TÉCNICA DE LA ADICIÓN DE LA UREA EN LA REMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS POR HIDROCARBUROS DE LA CIUDAD DE JULIACA - 2022** Líneas de Investigación: **CONTAMINACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL – P67**, Para optar el Grado Académico de **DOCTOR** en **CIENCIAS E INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL** de la Escuela de Posgrado de la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez", de la Sede Central Juliaca.

CONSIDERANDO:

Que, el (a) **Mgtr. EDWIN PARILLO ESCARSENA**, quien solicita cambio del asesor, aprobado con Resolución Directoral N° **0417-2022-USA-EPG/UANCV**, de fecha **26 de Julio del 2022**, en el que se le asignó como asesor al **Ph. D. Isidro Alberto Pilares Hualpa**, el mismo que se cambia por indisponibilidad de tiempo.

Que, el referido Dictamen de Tesis fue aprobado por los jurados el 09 de Julio del 2022, registrado en el Folio N° 677 del Libro de Registro de Proyectos de Investigación de Maestría, establece que se encuentra apto para ser desarrollado a lo establecido en el reglamento de Grado de Investigación conducente al Grado Académico de Magister/Maestro y Doctor de la Escuela de Posgrado de la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" de Juliaca;

Que, en el Reglamento General de la escuela de Posgrado de la UANCV, establece que la sustentación de Tesis de Posgrado es un trabajo de investigación original y crítico de actualidad y de alto valor científico.

En uso de las atribuciones conferidas a la Dirección en el inciso "j" del artículo 17 del Reglamento General de la Escuela de Posgrado, y el Art. 76 del Estatuto Universitario;

SE RESUELVE:

PRIMERO.- ACEPTAR EL CAMBIO DEL ASESOR, para su revisión de la Tesis titulada: **ANÁLISIS DE LA TÉCNICA DE LA ADICIÓN DE LA UREA EN LA REMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS POR HIDROCARBUROS DE LA CIUDAD DE JULIACA - 2022** presentado por el (a) **Mgtr. EDWIN PARILLO ESCARSENA**, conformado por los siguientes docentes:

- Presidente : **Dr. OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA**
- Primer Miembro : **Dr. EFRAIN PARILLO SOSA**
- Segundo Miembro : **Dr. LEONEL SUASACA PELINCO**
- Asesor : **Dr. RAMIRO AMILCAR BOLAÑOS CALDERON**

SEGUNDO- AUTORIZAR el desarrollo de Tesis, de acuerdo al Reglamento de Investigación conducente al Grado Académico de **DOCTOR** de la Escuela de Posgrado de la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez.

TERCERO.- ELEVAR al Rectorado, Vicerrectorado Académico, Vicerrectorado Administrativo y Oficina del Órgano de Inspección y Control para conocimiento, así como a la Oficina de Economía, para cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese y Archívese,



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
ESCUELA DE POSGRADO

Dr. Leopoldo Wierzboski Condori Cari
DIRECTOR (e)

CC: CARGO (01)
ARCHIVO EPG - 2024 (01)
INTERESADO (01)
LWCDI@URCH



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ" ESCUELA DE POSGRADO



RESOLUCIÓN DIRECTORAL N° 0103-2024-USA-EPG/UANCV

Juliaca, 14 Marzo del 2024

VISTOS:

El expediente N°. 02320, Presentado por el (a) Mgtr. **EDWIN PARILLO ESCARSENA**, con número de DNI **45648306** y con Código de matrícula N° **1610190573**, quien solicita cambio del asesor del Proyecto de Tesis titulado: **ANÁLISIS DE LA TÉCNICA DE LA ADICIÓN DE LA UREA EN LA REMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS POR HIDROCARBUROS DE LA CIUDAD DE JULIACA - 2022** Líneas de Investigación: **CONTAMINACION Y CALIDAD AMBIENTAL – P67** Para optar el Grado Académico de **DOCTOR** en **CIENCIAS E INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL** de la Escuela de Posgrado de la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez", Sede Central Juliaca.

CONSIDERANDO:

Que, mediante expediente No. 02320, el Mgtr. **EDWIN PARILLO ESCARSENA**, solicita el cambio del asesor, aprobado con Resolución Directoral N.º 0417-2022-USA-EPG/UANCV, de fecha 26 de julio del 2022, en el que se le asignó como asesor al Dr. Néstor Alejandro Cruz Calapuja, el mismo que se cambia por tener vínculo laboral con la UANCV.

Que, el referido Dictamen de Tesis fue aprobado por los jurados el 09 de Julio del 2022, registrado en el Folio N° 677 del Libro de Registro de Proyectos de Investigación de Maestría, establece que se encuentra apto para ser desarrollado a lo establecido en el reglamento de Grado de Investigación conducente al Grado Académico de Magister/Maestro y Doctor de la Escuela de Posgrado de la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" de Juliaca:

Que, en el Reglamento General de la escuela de Posgrado de la UANCV, establece que la sustentación de Tesis de Posgrado es un trabajo de investigación original y crítico de actualidad y de alto valor científico.

En uso de las atribuciones conferidas a la Dirección en el inciso "j" del artículo 17 del Reglamento General de la Escuela de Posgrado, y el Art. 76 del Estatuto Universitario;

SE RESUELVE:

PRIMERO.- ACEPTAR EL CAMBIO DEL ASESOR para su revisión de la Tesis titulada: **ANÁLISIS DE LA TÉCNICA DE LA ADICIÓN DE LA UREA EN LA REMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS POR HIDROCARBUROS DE LA CIUDAD DE JULIACA - 2022** presentado por el (a) Mgtr. **EDWIN PARILLO ESCARSENA**, del Doctorado en: **CIENCIAS E INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL**, conformado por los siguientes docentes:

- Presidente : Dr. **OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA**
- Primer Miembro : Dr. **EFRAIN PARILLO SOSA**
- Segundo Miembro : Dr. **LEONEL SUASACA PELINCO**
- Asesor : Ph.D. **ISIDRO ALBERTO PILARES HUALPA**

SEGUNDO- AUTORIZAR el desarrollo de Tesis, de acuerdo al Reglamento de Investigación conducente al Grado Académico de **DOCTOR** de la Escuela de Posgrado de la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez.

TERCERO.- ELEVAR al Rectorado, Vicerrectorado Académico, Vicerrectorado Administrativo y Oficina del Órgano de Inspección y Control para conocimiento, así como a la Oficina de Economía, para cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese y Archívese



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
ESCUELA DE POSGRADO
Dr. Leopoldo Wenceslao Condal Cari
DIRECTOR (s)



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
Mg. PERCY GONZALO
SECRETARIO

Cc /CARGO (01)
ARCHIVO EPG – 2024 (01)
INTERESADO (01)
LWCCleVVRCH



"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ" ESCUELA DE POSGRADO



RESOLUCION DIRECTORAL N° 0417 -2022-USA-EPG/UANCV

26 de julio del 2022.

VISTOS:

El expediente N° 037347, de fecha 12 de julio del 2022, presentado por el (la) **MAGISTER PARILLO ESCARSENA EDWIN**, con DNI N° 45648306, código de matrícula 1610190573, quien solicita resolución de aprobación de proyecto de tesis titulado: **ANÁLISIS DE LA TÉCNICA DE LA ADICIÓN DE LA UREA EN LA REMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS POR HIDROCARBUROS DE LA CIUDAD DE JULIACA - 2022**. Línea de investigación **CONTAMINACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL - P67**, para optar el grado de: **DOCTOR EN CIENCIAS E INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL**, de la Escuela de Posgrado de la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez Sede Central Juliaca.

CONSIDERANDO:

Que, en el Reglamento General de la Escuela de Posgrado de la UANCV, establece que la sustentación de tesis de Posgrado es un trabajo de investigación original y crítico de actualidad de alto valor científico.
Que, según Resolución N° 0555-2019-UANCV-CU-R, de fecha 08 de noviembre del 2019, se aprueba el Reglamento para la obtención del grado académico de Magister, Maestro, Doctor y Titulación de los Programas de Segunda Especialidad Profesional de la Escuela de Posgrado.
Que el **Art. 17**, establece que la aprobación del proyecto de investigación de tesis para la obtención de grados académicos de Magister/Maestro, Doctor se inicia con la presentación del proyecto de investigación de tesis según corresponda, en forma individual y conforme a las recomendaciones de la Escuela de Posgrado y estándares de la investigación científica, tecnológica y humanística.
Que el **Art. 60**, señala que la fecha límite para la presentación del borrador de tesis es de 02 años contados, desde la emisión de la resolución de aprobación del proyecto de tesis, vencido el plazo máximo el candidato a magister, maestro o doctor deberá presentar un nuevo proyecto de investigación de tesis.
Que el **Art. 21**, establece que el Director de la Escuela de Posgrado y el Director de la Unidad de Investigación de la Escuela de Posgrado, nominarán por sorteo a 03 docentes miembros del comité de investigación.
Que mediante oficio circular N° 638-2020-USA-EPG/UANCV-J, de fecha 04 de julio del 2022, se nombra al Comité de Investigación del proyecto de tesis conformado por los siguientes docentes:

Presidente : **Dr. OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA**
Primer miembro : **Dr. EFRAIN PARILLO SOSA**
Segundo miembro : **DR. LEONEL SUASACA PELINCO**

Que, con registro N° 677, de fecha 09 de julio del 2022, el Comité de Investigación del proyecto de tesis titulado: **ANÁLISIS DE LA TÉCNICA DE LA ADICIÓN DE LA UREA EN LA REMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS POR HIDROCARBUROS DE LA CIUDAD DE JULIACA - 2022**, presentado por el (la) **MAGISTER PARILLO ESCARSENA EDWIN**, cumple con los lineamientos y contenidos establecidos en reglamento de grado de investigación conducentes al grado académico de Magister/Maestro y Doctor de la Escuela de Posgrado de la UANCV, En uso de las atribuciones conferidas a la Dirección en el inciso "j" del artículo 17 del Reglamento General de la Escuela de Posgrado y en el artículo 76 del Estatuto Universitario:

SE RESUELVE:

PRIMERO: APROBAR, el Proyecto de investigación de Tesis de doctorado y **AUTORIZAR** el desarrollo de la Tesis, titulado: **ANÁLISIS DE LA TÉCNICA DE LA ADICIÓN DE LA UREA EN LA REMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS POR HIDROCARBUROS DE LA CIUDAD DE JULIACA - 2022**, presentado por el (la) **MAGISTER PARILLO ESCARSENA EDWIN**, para obtener el grado académico de **DOCTOR EN CIENCIAS E INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL** de la UANCV, asesorado por el (la) **Dr. NÉSTOR ALEJANDRO CRUZ CALAPUJA**.

SEGUNDO: ELEVAR al Rectorado, Vicerectorado Académico, Vicerectorado Administrativo, Vicerectorado de Investigación, Oficina del Órgano de Inspección y Control para conocimiento y cumplimiento de la presente resolución.

Regístrese, Comuníquese y Archívese

Dr. Félix C. Octaviano Paravicino
DIRECTOR (s)

MSc. LUIS CHAYNA AGUILAR
SECRETARIO ACADÉMICO

C:/CARGO (01)
ARCHIVO EPG-2022(01)
INTERESADO (01)
FCOP/meyn



ANÁLISIS DE LA TÉCNICA DE LA ADICIÓN DE LA ÚREA EN LA REMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS POR HIDROCARBUROS DE LA CIUDAD DE JULIACA - 2022

INFORME DE ORIGINALIDAD

21 %

INDICE DE SIMILITUD

20 %

FUENTES DE INTERNET

4 %

PUBLICACIONES

11 %

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	www.dspace.espol.edu.ec Fuente de Internet	1 %
2	qdoc.tips Fuente de Internet	1 %
3	hdl.handle.net Fuente de Internet	1 %
4	www.ciencialatina.org Fuente de Internet	1 %
5	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante	1 %
6	www.invriguero.com Fuente de Internet	1 %
7	www.doccity.com Fuente de Internet	1 %
8	repositorio.uancv.edu.pe Fuente de Internet	1 %



TITULO	
ANÁLISIS DE LA TÉCNICA DE LA ADICIÓN DE LA UREA EN LA REMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS DE HIDROCARBUROS DE LA CIUDAD DE JULIACA - 2022	
Datos de autor	
Nombres y Apellidos	EDWIN PARILLO ESCARSENA
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	45648306
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0003-1175-0512
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	RAMIRO AMILCAR BOLAÑOS CALDERON
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	29565004
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0003-4274-3040
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres Y Apellidos	OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02371550
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0005-6613-6925
Miembro del jurado 1	
Nombres Y Apellidos	EFRAIN PARILLO SOSA
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02416058
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0001-7567-039X



Miembro del jurado 2

Nombres Y Apellidos	LEONEL SUASACA PELINCO
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	40865558
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0001-6657-665X

Datos de investigación	
Línea de investigación	CONTAMINACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL - P67
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento.

Dirección: CIUDAD DE JULIACA
País: Perú
Departamento: Puno
Provincia: San Román
Distrito: Juliaca
 -15.49931, -70.12765
<https://maps.app.goo.gl/iPvNzEuJCKuvRQA98>

Ubicación geográfica de la investigación



Año o rango de años en que se realizó la investigación	2022 - 2024
--	-------------

URL de disciplinas OCDE	Ingeniería civil https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.00
- Librería	Ingeniería de la construcción https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.03

UNIVERSIDAD ANTONIO NESTOR CERDAS VELÁSQUEZ
 ESCUELA DE POSTGRADO

 Dr. Segundo Ortiz-Cansaya
 DIRECTOR DE INVESTIGACIÓN - EPG



DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo EDWIN PARSLO ESCARSENA, identificado con DNI Nro. 45648306 en mi condición de egresado de:

- Escuela Profesional
- Programa de Segunda Especialidad,
- Programa de Maestría o Doctorado

DOCTORADO EN CIENCIAS E INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación, Trabajo Académico denominada:

"ANÁLISIS DE LA TÉCNICA DE LA ADICIÓN DE LA UREA EN LA REMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS POR HIDROCARBUROS DE LA CIUDAD DE JULIACA - 2022"

Asesorado por: Dr. RAMIRO AMILCAR BOLAÑOS CÁDERON

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.


Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Juliaca 17 de SEPTIEMBRE del 2024


FIRMA (ASESOR)


FIRMA (obligatoria)



Huella



DEDICATORIA

A mis queridos padres, Cipriano Parillo Pancca, en paz descanse, y Lucila Escarsena Cutimbo de Parillo, quiero expresar mi profundo agradecimiento por su constante apoyo y comprensión en cada etapa de mi vida, tanto en los momentos difíciles como en los buenos. Sus enseñanzas han sido fundamentales para mí, brindándome las herramientas necesarias para enfrentar los desafíos con dignidad y nunca perder la esperanza. Todo lo que soy hoy, desde mis valores hasta mi determinación, es el resultado de su amor y guía inquebrantable. Su paciencia infinita ha sido un regalo invaluable que atesoro con cariño. Gracias por todo.

A mis hermanas Deysi Hayek y Merily Ashly Parillo Escarsena, por su autenticidad, vuestra presencia ha sido un pilar fundamental en mi vida, proporcionándome el equilibrio necesario para dar lo mejor de mí mismo. Con todo mi cariño y gratitud, les doy las gracias de corazón.

A todos aquellos que me han brindado su apoyo moral: a mis familiares, amigos y amigas.



AGRADECIMIENTO

A Dios, nuestro creador, por concederme el regalo de la vida y por mantenerme sano y saludable.

A la Escuela de Posgrado de la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez, por ser el lugar donde he adquirido los conocimientos y habilidades que me han preparado para ser un profesional íntegro.

A mis padres, por su constante motivación para completar esta investigación y por preocuparse siempre por mi bienestar, permitiéndome perseguir mi meta con determinación.

A mis docentes catedráticos, quienes generosamente compartieron sus conocimientos y experiencias, guiándome en mi formación académica. Agradezco sinceramente sus valiosas correcciones y sugerencias, las cuales han enriquecido la elaboración de esta investigación.



ÍNDICE

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
ÍNDICE	i
ÍNDICE DE TABLAS	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	v
RESUMEN	vii
ABSTRACT	viii
INTRODUCCIÓN	ix

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1. EXPOSICIÓN DE LA SITUACIÓN PROBLEMÁTICA	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.2.1. Problema general	3
1.2.2. Problemas específicos	3
1.3. JUSTIFICACIÓN	4
1.4. OBJETIVOS	6
1.4.1. Objetivo general	6
1.4.2. Objetivos específicos	6
1.5. HIPÓTESIS	6
1.5.1. Hipótesis general	6
1.5.2. Hipótesis específicas	7
1.6. VARIABLES	7
1.6.1. Variable independiente	8
1.6.2. Variable dependiente	8
1.6.3. Variable control	9

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	10
2.2. BASES TEÓRICAS	13
2.2.1. Suelo	13



2.2.2. Condiciones ambientales del suelo.....	16
2.2.3. Acuífero	20
2.2.4. Contaminación.....	20
2.2.5. Residuos.....	23
2.2.6. Hidrocarburos	24
2.2.7. Remediación.....	29
2.2.8. Técnicas de remediación de suelos.....	29
2.2.9. Indicadores de calidad ambiental.....	42
2.3. MARCO CONCEPTUAL	44
2.3.1. La importancia del petróleo en la sociedad.....	45
2.3.2. Ventajas y desventajas de biorremediación.....	46
2.3.3. La urea.....	47
2.3.4. Nitrógeno	49
2.3.5. Fósforo	49
2.3.6. Potasio	50
2.3.7. Tipos de composición de abonos	50
2.3.8. Dosis NPK óptima en cultivo de papa (<i>Solanum tuberosum</i>).....	51
2.3.9. Dosis NPK óptima en cultivo de trigo (<i>Triticum aestivum</i>)	52
2.3.10. Dosis NPK óptima en cultivo de maíz (<i>Zea mays</i>).....	53

CAPÍTULO III

PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.....	55
3.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	57
3.3. NIVEL DE INVESTIGACIÓN	58
3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA	58
3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN	59
3.6. FUENTES DE INVESTIGACIÓN	59
3.7. RECOLECCIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS	59
3.7.1. Proceso de recolección de muestras y contaminación	59
3.7.2. Proceso de remediación	65
3.7.3. Ensayos de condiciones ambientales del suelo	68



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. PRESENTACIÓN E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS 82

4.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS 85

4.3. PRUEBA DE HIPÓTESIS 97

 4.3.1. Prueba de hipótesis general 97

 4.3.2. Primera hipótesis específica 99

 4.3.3. Segunda hipótesis específica 105

 4.3.4. Tercera hipótesis específica 109

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia

Anexo 2. Ensayos de clasificación de suelo – propiedades físicas del suelo

Anexo 5. Ensayos de propiedades mecánicas del suelo

Anexo 4. Análisis químico del suelo

APÉNDICES

Plano de ubicación de zona de estudio



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Fuente de contaminación y tipos de contaminación en el suelo	23
Tabla 2: Aspectos para la implementación del landfarming	33
Tabla 3: Clasificación de la salidad de suelo según el tipo de conductividad eléctrica	43
Tabla 4: Clasificación de suelo de la muestra M-1	61
Tabla 5: Propiedades mecánicas de suelo de la muestra M-1	62
Tabla 6: Análisis de suelo de muestreo N° 1	84
Tabla 7: Análisis de suelo de muestreo N° 2	84
Tabla 8: Análisis de suelo de muestreo N° 3	85
Tabla 9: Análisis de suelo de muestreo N° 1	86
Tabla 10: Análisis de suelo de muestreo N° 2	86
Tabla 11: Análisis de suelo de muestreo N° 3	87
Tabla 12: Estadísticos descriptivos	87
Tabla 13: Análisis descriptivos (95% del intervalo de confianza para la media).....	88
Tabla 14: Análisis de varianza (ANOVA)	89
Tabla 15: Resumen de modelo de estimaciones de regresión	93
Tabla 16: Parámetros del suelo de la proporción optima de nutriente	96
Tabla 17: Análisis de varianza	98
Tabla 18: Comparaciones múltiples HSD Tukey	100
Tabla 19: Correlación de Pearson	106
Tabla 20: Correlación de Pearson	109



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Contaminación por hidrocarburos de estaciones de servicio	3
Figura 2: Composición de un suelo madurado	14
Figura 3: Estructura o perfil de un suelo	15
Figura 4: Acuífero	20
Figura 5: Relación de contaminación ambiental entre el suelo, agua y aire	21
Figura 6: Cadena de valor del petróleo y sus derivados	25
Figura 7: Esquema de proceso de electroremediación	34
Figura 8: Esquema de proceso de inyección de aire	35
Figura 9: Sistema combinado de extracción de vapores del suelo y aspersión de aire	35
Figura 10: Esquema de una planta de enjuague de suelos	36
Figura 11: Proceso de extracción con solventes	38
Figura 12: Esquema de incineraciones	39
Figura 13: Proceso de fitorremediación	40
Figura 14: Urea	49
Figura 15: Papa	52
Figura 16: Trigo	53
Figura 17: Maíz	54
Figura 18: Estimulación por landfarming a pequeña escala	61
Figura 19: Calicata C-01	62
Figura 20: Ensayo Geogauge en la calicata C-01	63
Figura 21: Muestreo de calicata C-01	63
Figura 22: Ensayo de corte directo de la muestra M-1	64
Figura 23: Medición del contaminante	64
Figura 24: Contaminación de las muestras de suelo M-2, M-3, M-4, M-5	65
Figura 25: Urea	66
Figura 26: Urea en 500gr, 1000gr y 1500gr.	66
Figura 27: Técnica de adición de la urea en 500gr, 1000gr y 1500gr.	67



Figura 28: Estimulación por landfarming a pequeña escala	68
Figura 29: Muestra M-1, M-2, M-3, M-4, M-5	69
Figura 30: Medidor potenciométrico	71
Figura 31: Medición del pH	71
Figura 32: Medidor termogravimétrico	73
Figura 33: Colocación de muestra en la bomba de vacío	75
Figura 34: Bomba de vacío	75
Figura 35: Conductímetro	76
Figura 36: Kit LaMotte	76
Figura 37: Procedimiento de ensayo de nitrógeno en forma de nitrato	77
Figura 38: Nitrógeno en forma de nitrato	78
Figura 39: Medición del Fósforo en suelos	79
Figura 40: Placa de lectura de potasio	81
Figura 41: Medición del Potasio en suelos	81
Figura 42: Recolección de parámetros de suelo	83
Figura 43: Comportamiento del pH	90
Figura 44: Comportamiento de la humedad.....	91
Figura 45: Comportamiento de la conductividad eléctrica.....	91
Figura 46: Comportamiento del nitrógeno.....	91
Figura 47: Comportamiento del fósforo.....	92
Figura 48: Comportamiento del potasio	92
Figura 49: Regresión lineal del pH.....	93
Figura 50: Regresión lineal de la humedad	94
Figura 51: Regresión cuadrática de la conductividad eléctrica.....	94
Figura 52: Regresión cuadrática del nitrógeno	95
Figura 53: Regresión lineal del fósforo.....	95
Figura 54: Regresión cuadrática del potasio.....	96
Figura 55: Histograma de normalidad de residuos del tratamiento de muestras	105
Figura 56: Gráfico P-P normal de regresión residuo estandarizado	106



RESUMEN

El estudio aborda la contaminación del suelo por hidrocarburos y la necesidad de encontrar métodos efectivos de remediación. El objetivo es evaluar la eficacia de la técnica de adición de la urea en suelos contaminados. La metodología del estudio fue cuasiexperimental y cuantitativa, utilizando el método de degradación de contaminantes mediante nutrientes (urea) y landfarming. Se utilizaron cinco celdas con 15000 gramos de muestra, aplicando hidrocarburos y urea bajo condiciones específicas y utilizando métodos analíticos se midió la reducción de contaminantes en el suelo. Dando como resultado en la preservación de la conductividad eléctrica, relacionado con otros parámetros de suelo. En conclusión, la adición de urea como fuente de nitrógeno con una dosificación de 1267.39 gramos, restauró la conductividad eléctrica en 185.30 uS/cm y redujo el pH a 7.75, indicando una corrección exitosa. A pesar de las variaciones en humedad, fósforo y potasio debido a las condiciones específicas del suelo, se logró un equilibrio en nitrógeno, fósforo y potasio a 57.34 kg/ha, 175.07 kg/ha y 102.83 kg/ha respectivamente, lo que contribuyó a la restauración del suelo contaminado. El landfarming es económico, pero su efectividad varía según la contaminación, clima y suelo, esencial para seleccionar estrategias de remediación.

Palabras clave: Contaminación del suelo, urea, remediación, conductividad eléctrica, landfarming.



ABSTRACT

The study addresses soil contamination by hydrocarbons and the need to find effective remediation methods. The objective is to evaluate the efficacy of urea addition technique in contaminated soils. The study methodology was quasi-experimental and quantitative, utilizing the nutrient degradation method (urea) and landfarming. Five cells with 15000 grams of samples were used, applying hydrocarbons and urea under specific conditions, and analytical methods were used to measure contaminant reduction in the soil. This resulted in the preservation of electrical conductivity, related to other soil parameters. In conclusion, the addition of urea as a nitrogen source at a dosage of 1267.39 grams restored electrical conductivity to 185.30 uS/cm and reduced the pH to 7.75, indicating successful correction. Despite variations in moisture, phosphorus, and potassium due to specific soil conditions, a balance was achieved in nitrogen, phosphorus, and potassium at 57.34 kg/ha, 175.07 kg/ha, and 102.83 kg/ha respectively, contributing to the restoration of the contaminated soil. Landfarming is cost-effective, but its effectiveness varies depending on contamination, climate, and soil, essential for selecting remediation strategies.

Keywords: Soil contamination, urea, remediation, electrical conductivity, landfarming.



INTRODUCCIÓN

En los últimos años, uno de los problemas más destacados a nivel mundial ha sido el conflicto relacionado con el agua y su relación con otros elementos. La contaminación del suelo se ha posicionado como una preocupación significativa, especialmente cuando se vierten compuestos líquidos, ya que estos pueden alcanzar el nivel freático y allí contaminar los ríos y demás afluentes hidráulicos, de esto no se libra la ciudad de Juliaca ni ninguna de las demás ciudades del Perú.

Por otro lado, las Estaciones de Servicio desempeñan un papel crucial en la sociedad al proveer combustibles líquidos, como gasolina y diésel, y ofrecer servicios adicionales como lavado, lubricación, engrase, cambio de aceite y filtros. En el contexto específico de Juliaca, una ciudad que alberga a aproximadamente 325,146 habitantes según datos de 2013, la mayoría de los residentes poseen vehículos propios, y numerosas estaciones de servicio se encuentran dentro de la zona urbana.

Sin embargo, a pesar de la importancia de estas estaciones, se encuentran confrontando desafíos cruciales. Los elementos vitales, tales como los tanques de almacenamiento y los surtidores envejecidos han generado fugas menores de combustible durante las operaciones, debido a su deterioro y falta de cumplimiento de estándares técnicos.

Estos derrames, ya sea por fugas o accidentes, generan problemas ambientales al afectar tanto el suelo superficial como el subsuelo. La filtración de combustibles en el suelo representa un riesgo para la salud pública al contaminar mantos acuíferos y cuerpos de agua, esenciales para diversas



actividades. Además, los combustibles pueden dañar la estructura y productividad de los suelos. Es urgente abordar estos problemas, dado que el deterioro de las estaciones de servicio afecta tanto al medio ambiente como a la salud y el bienestar de la comunidad local.

Ante este problema de contaminación de suelos en la ciudad de Juliaca se pretende realizar un análisis de la técnica de la adición de la urea en la remediación de suelos contaminados por hidrocarburos planteando el proceso de landfarming a pequeña escala de una muestra de suelo de mayor capacidad portante tratando de obtener las propiedades iguales o mejores del suelo original antes de ser contaminado.

En el marco de la investigación sistemática y científica, el estudio se ha estructurado en cuatro capítulos.

En el primer capítulo, se aborda la problemática de la investigación, incluyendo la exposición del problema, su planteamiento, justificación, objetivos, hipótesis y variables.

El segundo capítulo se enfoca en el marco teórico, que abarca los antecedentes, bases teóricas y el marco conceptual.

En el tercer capítulo se detallan los procedimientos metodológicos utilizados en la investigación, tales como el método, diseño, nivel, población y muestra, técnicas e instrumentos, fuentes de información, así como la recolección y análisis de datos.

El cuarto capítulo presenta los resultados y su discusión, incluyendo la presentación e interpretación de los datos, análisis de resultados y pruebas de hipótesis.



Las conclusiones y recomendaciones pertinentes se incluyen en la síntesis del estudio.

Finalmente, se citan las referencias bibliográficas y se adjuntan los anexos y apéndices correspondientes.



CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 EXPOSICIÓN DE LA SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

Uno de los principales problemas hallado en estos últimos años a nivel mundial es el Conflicto por el agua, la contaminación en suelos también es muy importante en especial cuando se vierten compuestos líquidos sobre él, ya que estos compuestos pueden llegar al nivel freático del suelo y de allí contaminar nuestros ríos y demás afluentes hidráulicos, de esto no se libra la ciudad de Juliaca ni ninguna de las demás ciudades del Perú.

En las Estaciones de Servicio, además de vender combustibles líquidos como gasolina y diésel, se ofrecen servicios adicionales como lavado Y lubricación, así como cambio de aceite y filtros. También pueden brindar servicios complementarios como reparación de neumáticos, y en algunos casos, servicios de minimercado e incluso hospedaje.

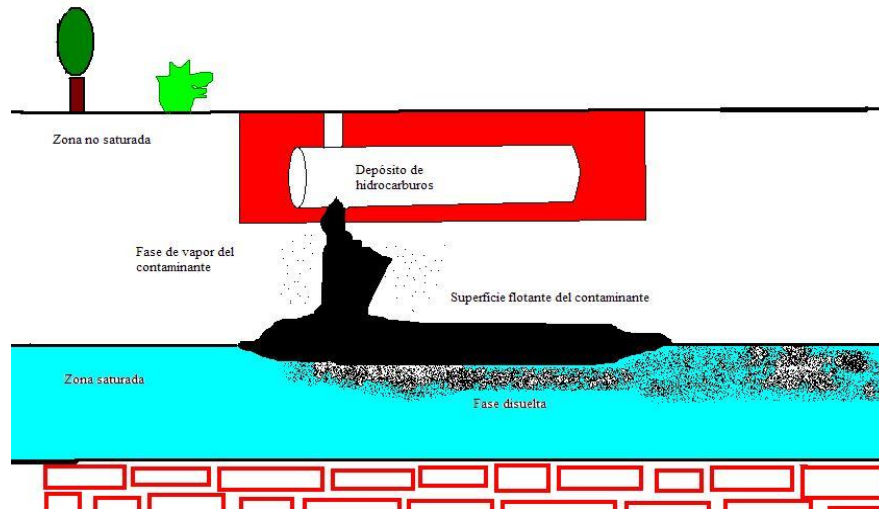


En la actualidad, en la ciudad de Juliaca residen alrededor de 325,146 hab. (2013), la mayoría de las cuales poseen vehículos propios. En la zona urbana de la ciudad, se encuentran ubicadas varias estaciones de servicio, cuyos equipos, como tanques de almacenamiento y surtidores, han superado su vida útil. Esto ha resultado en equipos deteriorados y la falta de accesorios para el control de derrames, como cajas contenedoras y cierres automáticos de válvulas de suministro, entre otros.

Los incidentes menores de derrames de combustible son comunes durante las operaciones de las Estaciones de Servicio, especialmente cuando los equipos no cumplen con los estándares técnicos necesarios para prevenir tales eventos.

Las fugas y derrames accidentales en tanques y tuberías han generado problemas ambientales tanto en la superficie como en el subsuelo. Una vez que los combustibles contaminan el suelo, alteran sus propiedades mecánicas y químicas, dañando su productividad y la población microbiana, y representando una amenaza para la salud pública al infiltrarse en los mantos freáticos y las aguas subterráneas, que son fuentes vitales para la agricultura, uso doméstico e industrial en la región. Además, los combustibles pueden afectar la estructura, fertilidad y productividad de los suelos.

Figura 1
Contaminación por hidrocarburos de estaciones de servicio



Nota. El gráfico representa un contenedor desparpando hidrocarburos al suelo llegando así al nivel freático.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Ante la problemática de la contaminación del suelo en Juliaca, surge la necesidad de plantear las siguientes interrogantes, las cuales serán sometidas a investigación de campo y laboratorio que serán aceptados o rechazados a través de la formulación de hipótesis científicas.

1.2.1. Problema general

¿Cómo es la técnica de la adición de la urea en la remediación de suelos contaminados por hidrocarburos de la ciudad de Juliaca-2022?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cómo interviene la urea en la remediación de suelos contaminados por hidrocarburos?
- ¿Cuál es la dosificación de la urea para el empleo en la remediación de suelos contaminados por hidrocarburos?



- ¿De qué manera afecta la urea en la estimulación de la degradación de hidrocarburos en suelos contaminados?

1.3 JUSTIFICACIÓN

Este estudio investigativo se llevó a cabo con el propósito de identificar técnicas eficaces y sostenibles para rehabilitar suelos contaminados por hidrocarburos, los cuales provienen de la falta de mantenimiento en los tanques de almacenamiento de las estaciones de servicio de vehículos en Juliaca. En este contexto, los residuos peligrosos, que constituyen aproximadamente el 54% del total, son un importante problema ambiental

En la actualidad, las acciones llevadas a cabo para gestionar y regular los desechos peligrosos incluyen métodos como el confinamiento, la reutilización, y el tratamiento físico, químico, y biológico (Toledo Morán, 2009). El cual aún no trata de transformar y corregir de alguna manera el daño ocasionado. Tomando como punto de partida la remediación de suelos contaminados con aceite de motor mediante tensioactivos altamente biodegradables (Moya-Ramírez et al., 2014). Pero esta vez sometidos mediante la técnica de la adición de un agente químico como la urea.

En el Perú, las Estaciones de Servicio operan sin cumplir con especificaciones técnicas mínimas, lo que ha causado derrames de combustible y problemas ambientales en el suelo (Iturbe Arguelles, 2013). Por otra parte, los hidrocarburos también pueden afectar la capacidad de producir



cantidades adecuadas de nutrientes para el crecimiento de las plantas en los suelos (Cuartas, 2012).

Cuando los hidrocarburos contaminan el suelo, alteran sus propiedades físicas y químicas, dañando su capacidad de producción y la población microbiana, lo que a su vez tiene un impacto en la salud pública (Infante & García, 2012), otras de las consecuencias es su contacto con el nivel freático, dañando también las aguas subterráneas, que es indispensable en el departamento en la agricultura y también para las actividades industriales y domésticas (Cuartas, 2012).

Estamos inmersos en la era de las tecnologías limpias (Valdivieso, 2011), para las empresas industriales, la gestión y reducción de la contaminación ambiental representan nuevos desafíos, ya que deben cumplir con regulaciones estrictas y enfrentar sanciones que restringen su acceso a los mercados internacionales (Rosario Guerra, 2005). Por lo que la remediación de suelos es indispensable no solo para estas empresas sino también para el ser humano.

Ante esto la remediación de suelos es una buena solución ante esta problemática (Coria, 2007). La biorremediación se considera una técnica efectiva para la limpieza de suelos contaminados, ya que aprovecha la población microbiana natural presente en el suelo (Iturbe Arguelles, 2013).

Para alcanzar un adecuado entendimiento del tema, se estudiará el suelo como receptor del hidrocarburo como contaminante donde se evaluará



las propiedades y el comportamiento de este con sus propiedades; Mediante la técnica de la adición de la urea y el landfarming degradar el contaminante en un caso práctico comparándolo con los estándares de calidad de suelo establecido por el Ministerio del Ambiente y los suelos de origen.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

Analizar la técnica de la adición de la urea en la remediación de suelos contaminados por hidrocarburos de la ciudad de Juliaca-2022

1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar cómo interviene la urea en la remediación de suelos contaminados por hidrocarburos.
- Establecer la dosificación de la urea para el empleo en la remediación de suelos contaminados por hidrocarburos.
- Comparar el efecto de la urea en la estimulación de la degradación de hidrocarburos de suelos contaminados.

1.5 HIPÓTESIS

1.5.1. Hipótesis general

La técnica de la adición de la urea es eficaz en la remediación de suelos contaminados por hidrocarburos en la ciudad de Juliaca.



1.5.2. Hipótesis específicas

- la urea interviene efectivamente en la remediación de suelos contaminados por hidrocarburos.
- la dosificación adecuada para el empleo de la urea en la remediación de suelos contaminados por hidrocarburos dependerá de un buen resultado de los ensayos.
- La aplicación de nutrientes, la estimulación realizando un volteo manual como fuente de oxígeno, facilita la absorción de todos los elementos del suelo, descomponiendo los hidrocarburos de forma más rápida.

1.6 VARIABLES

La remediación, implica la aplicación de medidas correctivas destinadas a contrarrestar y mitigar los efectos adversos de la contaminación en diversos elementos del medio ambiente, tales como el suelo, las aguas subterráneas, el sedimento y las aguas de la superficie. Este proceso es esencial para salvaguardar tanto la salud humana como el equilibrio ambiental, así como para permitir el redesarrollo sostenible de áreas previamente afectadas.

En esencia, la remediación busca proporcionar soluciones eficaces para eliminar o reducir los contaminantes presentes en el entorno, abordando así las posibles amenazas a la salud de las personas y la integridad del ecosistema.



Este enfoque integral implica la implementación de tecnologías y estrategias específicas adaptadas a las características particulares de cada caso.

1.6.1. Variable independiente

Las variables a analizar es la REMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS POR HIDROCARBUROS MEDIANTE LA TECNICA DE LA ADICIÓN DE LA UREA EN LA CIUDAD DE JULIACA por un proceso de landfarming a pequeña escala en diferentes concentraciones.

1.6.2. Variable dependiente

COMPORTAMIENTO DE LOS SUELOS CONTAMINADOS POR HIDROCARBUROS MEDIANTE LA ADICIÓN DE LA UREA verificando los siguientes indicadores:

- Clasificación
- Temperatura
- Humedad
- pH
- Conductividad eléctrica
- Nitrógeno
- Potasio
- Fósforo
- Textura



1.6.3. Variable control

Existen algunas variables que se controló para obtener mejores resultados en la investigación los cuales son:

- a.- Características químicas (contenido de nutrientes); siendo una muestra patrón de suelo natural.

- b.- Características físicas (textura) del suelo patrón.



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

En la remediación de suelos, se ha priorizado la técnica de extracción física in situ siempre que ha sido factible (Coria, 2007), cuando la extracción física in situ ya no es viable, se han utilizado tratamientos físico-químicos que implican la adición de aditivos y sustancias para reducir los contaminantes, aunque esta opción es más compleja y menos accesible (Universidad de Ácala, 2012). En los años 70, las empresas petroleras aplicaron técnicas de remediación similares a la biolabranza, principalmente para tratar derrames de gasolina. (Geotecnia, 2000).

Durante la década de 1980, se popularizó el uso de aire para proporcionar oxígeno a áreas contaminadas, lo que mejoró la eficacia de los métodos de degradación (Cossio et al., 2012), En los años 90, se logró la biorremediación mediante el avance de tecnologías de "burbujeo de oxígeno" en franjas debajo del nivel freático. (Helena et al., 2014). Al mismo tiempo, se implementaron laboratorios para tratar hidrocarburos clorados, tras



experimentos iniciales con metales pesados y técnicas anaerobias. Mejorando las estrategias de ingeniería para aumentar la eficacia de métodos populares como la "biolabranza" y el "compostaje" en la remediación de suelos contaminados (Torres Delgado & Zuluaga Montoya, 2013).

Las propiedades del contaminante y del suelo interactúan de manera compleja, determinadas por varios factores que influyen en el comportamiento del contaminante en el suelo y en la eficacia de las tecnologías de remediación (Helena et al., 2014). Por tanto, Para elegir la tecnología de remediación más adecuada y con altos niveles de éxito, es esencial tener en cuenta tanto las propiedades del contaminante como las del sitio contaminado. Entre los factores a considerar se incluyen los siguientes: (i) procesos químicos como la hidrólisis, oxidación, reducción y fotólisis; (ii) procesos físicos o de transporte como la sorción, advección, dispersión, difusión, volatilización y solubilización; y (iii) procesos biológicos como la biodegradación, biotransformación y toxicidad (Sepúlveda & Trejo, 2002).

La biodegradación es la más común a manejar y es la más fácil de manejar como lo muestran varios de los investigadores en sus estudios y resultados como, por ejemplo; Las bacterias degradadoras de hidrocarburos pueden incorporar alcanos durante la biodegradación del combustible diésel. En un estudio de laboratorio, se observó que las cepas bacterianas *Pseudomonas luteola PB6* y *Escherichia coli DH5aT* lograron degradar un 29% del combustible diésel en 120 horas (Díaz et al., 2013).



La biorremediación de suelos contaminados con altas concentraciones de aceite residual automotriz (ARA) y la fitorremediación con *Sorghum bicolor* inoculado con *Burkholderia cepacia* y *Penicillium chrysogenum* (Sánchez Yañes et al., 2015). El estudio trató suelos contaminados con aceite residual automotriz (ARA) mediante biorremediación y fitorremediación, logrando reducir las concentraciones de ARA de 55000 a 33400 ppm y de 65000 a 24300 ppm, respectivamente. (Sánchez Yañes et al., 2015).

En Puno también existen investigaciones de **fitorremediación de suelos** expuestos a plomo y cadmio utilizando *alopecurus magellanicus bracteatus* y *muhlenbergia angustata* (poaceae), en el cual se seleccionaron diez puntos de muestreo cerca de una zona minera en **Ananea-Puno, Perú**, para analizar metales mediante espectrometría de plasma. Se evaluó el potencial de fitorremediación en *A. magellanicus bracteatus* y *M. angustata* mediante coeficientes biológicos como **absorción biológico- BAC, factor de translocación - BT y factor de remediación -RC**. Se encontraron diferencias en la absorción y translocación de plomo y cadmio entre las especies, pero el potencial de fitorremediación de ambas plantas fue bajo (Argota Pérez et al., 2014).



2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1 SUELO

(Iturbe Arguelles, 2013) Define al suelo como: “El suelo es la capa superficial de la tierra que se extiende hasta unos 30 cm de profundidad y está formado por partículas inorgánicas, materia orgánica, agua, aire y microorganismos. Por otro lado, el subsuelo es la capa de tierra que se encuentra debajo del suelo y comparte características similares. Tanto el suelo como el subsuelo pueden estar compuestos por rocas sólidas o capas de materiales como arena, arcilla y limo, con propiedades distintas” (p. 5)

2.2.1.1 COMPOSICIÓN MEDIA DEL SUELO

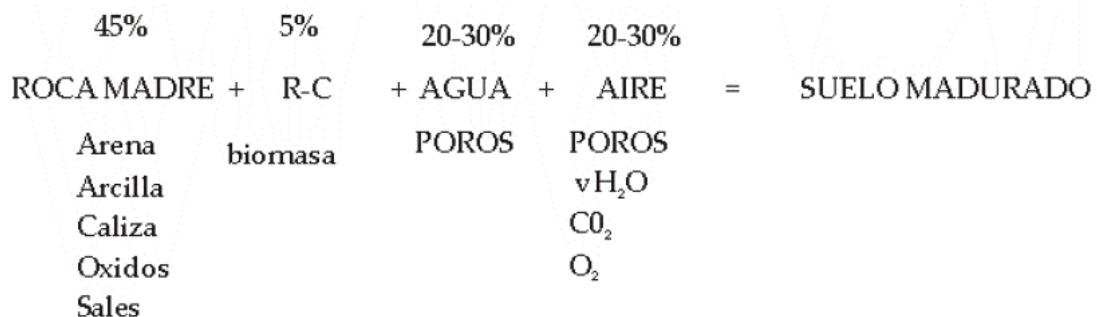
(Encinas, 2011) afirma: “La formación de un suelo empieza con la descomposición física o química de la roca original, un proceso llamado meteorización. Esta descomposición puede ser provocada por diversos factores, como el clima, la actividad biológica, la composición de las rocas y el tiempo de exposición a estos factores” (p. 73).

(...) “Cuando los productos de la meteorización no son arrastrados por la erosión, se mezclan con materia orgánica, agua y aire en el suelo, lo que resulta en la formación de un suelo maduro.” (p. 73).

(...) “Entonces, un suelo maduro se compone de sólidos (aproximadamente 50% de su composición, con un 45% de minerales y un 5%

de materia orgánica), junto con agua (que representa entre un 20% y un 30% de su contenido) y aire (también entre un 20% y un 30%).” (p. 73).

Figura 2
Composición de un suelo madurado



Nota. La figura representa la composición general de un suelo (Encinas, 2011)

La materia orgánica en el suelo está formada por una mezcla de biomasa, que incluye plantas en descomposición y humus (el residuo de la descomposición de plantas por hongos y bacterias), junto con organismos vivos y microorganismos. El agua en el suelo llena los espacios entre las partículas sólidas, al igual que el aire, que está compuesto principalmente por vapor de agua, dióxido de carbono y, en menor medida, oxígeno.

2.2.1.2 TEXTURA DEL SUELO

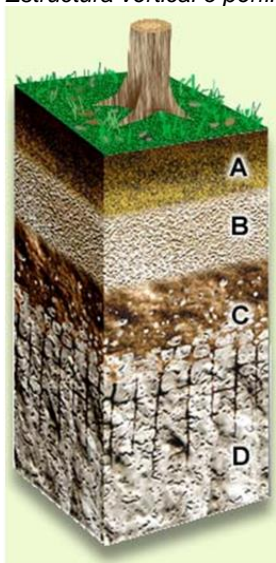
(Encinas, 2011) Señala que: “La textura del suelo se refiere al tamaño de las partículas que lo componen y se clasifica en tres categorías: fina (arcilla y limo), media (arena) y gruesa (grava y piedras)” (p. 74).

(...) “La textura del suelo, que se refiere al tamaño de sus partículas, es fundamental porque afecta su permeabilidad al agua. Los suelos con partículas más gruesas son más permeables que los suelos con partículas finas” (p. 75).

2.2.1.3 ESTRUCTURA VERTICAL

(Encinas, 2011) menciona que: “Los suelos se organizan verticalmente en capas o estratos conocidos como horizontes, que pueden diferenciarse por su color. El término "perfil del suelo" se refiere a la colección de horizontes que constituyen un suelo específico” (p. 75).

Figura 3
Estructura vertical o perfil de un suelo



Horizontes del suelo	
A	A00 Hojas y residuos orgánicos sin descomponer
	A0 Residuos parcialmente descompuestos
	A1 Color oscuro por presencia de materia orgánica
	A2 Color claro por efecto del lavado
A3-B1 Transición a A-B	
B	B2 Precipitación de sustancias lavadas de A
	B3 Transición B-C
C	C Fragmentos y restos de meteorización de la roca madre
D	D Roca madre sin alterar

Nota. La figura representa el esquema vertical o horizontes de un suelo (Encinas, 2011)

(Encinas 2011, p. 75) “El horizonte A es la capa superficial del suelo rica en materia orgánica y cerca de la superficie, donde se encuentran las raíces de las plantas. Es vulnerable a la erosión y al lixiviado por agua. Su composición es muy compleja, por lo que se divide en subhorizontes:”



- El subhorizonte A0 presenta una alta concentración de materia orgánica, con restos vegetales fácilmente identificables, como hojas y ramas. Su color puede variar según la estación del año y la región.
- El subhorizonte A1 presenta una menor cantidad de materia orgánica y está principalmente compuesto por arcillas, lo que le da un color marrón claro.
- El subhorizonte A2 es muy inorgánico y está formado por arcillas, Fe_2O (Oxido de hierro) el cual tiene un color más claro.

“Al horizonte B también conocido como horizonte de precipitación o de acumulación, este horizonte recibe los componentes del horizonte A y se caracteriza por ser predominantemente inorgánico. Su color varía entre tonos rojizos y parduscos debido a la acumulación de minerales” (Encinas 2011, p. 76).

“El horizonte C es la roca original a partir de la cual se forma el suelo. Se divide en dos partes: una superior (C1 o C), donde la roca se está descomponiendo, y una más profunda (C2 o D), donde la roca madre está intacta” (Encinas 2011, p. 76)

2.2.2 CONDICIONES AMBIENTALES DEL SUELO

2.2.2.1 PH

El nivel de acidez o alcalinidad del suelo, conocido como pH, desempeña un papel crucial en la actividad de los microorganismos descomponedores. Se considera óptimo para su desarrollo un pH que se



encuentre entre 6 y 8. Si el pH es superior a este rango, se puede reducir añadiendo azufre al suelo. Por otro lado, si el pH del suelo es bajo, se puede elevar añadiendo carbonato de calcio o hidróxido de calcio. Antes de modificar el pH, se deben realizar pruebas para determinar la cantidad adecuada de azufre o carbonato a agregar (Castillo, 2009).

Cuando se encuentran altas concentraciones de metales pesados en el suelo, es importante ajustar el pH para que estos metales queden inmovilizados o en una forma insoluble, lo que reduce la toxicidad para los microorganismos. En estas circunstancias, se recomienda considerar la posibilidad de trabajar a pH diferente al óptimo para evitar efectos nocivos (Castillo, 2009).

2.2.2.2 HUMEDAD

El agua es esencial para el crecimiento de los microorganismos, ya que transporta nutrientes y oxígeno a las células. Se sugiere mantener una humedad del suelo alrededor del 70% de su capacidad de retención de agua, que depende del tipo de suelo. El exceso de humedad puede impedir el proceso por falta de oxígeno, y la humedad insuficiente puede limitar el crecimiento celular (Castillo, 2009).

2.2.2.3 TEMPERATURA

(Castillo, 2009) indica que: "La velocidad de descomposición depende de la temperatura y de la disponibilidad de diversos tipos de microorganismos.



Las temperaturas óptimas para la descomposición suelen estar entre 20 °C y 40 °C. A temperaturas más altas, la descomposición es más rápida, pero por encima de los 40 °C, la actividad microbiana puede disminuir o cambiar hacia especies más resistentes al calor, como en el compostaje, donde se alcanzan hasta 65 °C.” (p. 52).

(...)”La temperatura es crucial en la descomposición biológica, ya que afecta las propiedades de los hidrocarburos. A bajas temperaturas, el petróleo se vuelve más viscoso, lo que dificulta su disolución en agua y reduce la volatilización de fracciones tóxicas que podrían interferir con la actividad microbiana. En contraste, a altas temperaturas, la toxicidad de los hidrocarburos aumenta, lo que inhibe la actividad microbiana.” (p. 52).

2.2.2.4 PRESENTACIÓN DE METALES PESADOS Y SALES

(Castillo, 2009) señala que: “Las altas concentraciones de metales y sales pueden resultar tóxicas para los microorganismos, incluidos los metales pesados, el sodio y varias sales inorgánicas. Estas sustancias reducen la velocidad de descomposición, a menos que haya microorganismos resistentes presentes o se realice una bioaugmentación. A veces, aumentar el pH del suelo puede inmovilizar los metales y reducir su impacto. Los microorganismos no degradan contaminantes inorgánicos, pero pueden cambiar su forma química para inmovilizarlos o eliminarlos mediante lixiviación o volatilización. Algunos microorganismos pueden absorber y retener metales en su estructura celular, evitando su migración” (p. 52).



2.2.2.5 BIODISPONIBILIDAD

(Castillo, 2009) señala que: “La descomposición de contaminantes en el suelo está afectada por la actividad microbiana y la transferencia de masa hacia los microorganismos. En estudios de campo, un aumento en la capacidad de los microorganismos no siempre resulta en una mayor velocidad de descomposición. Esto es especialmente notable en derrames antiguos, donde la disponibilidad de contaminantes disminuye con el tiempo debido al envejecimiento del suelo” (p. 52).

2.2.2.6 CONDUCCIÓN ELECTRICA

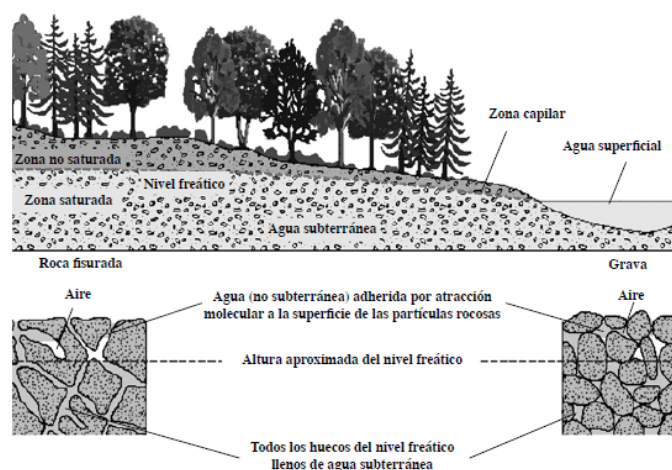
La conductividad eléctrica del suelo, indica su capacidad de conducir electricidad, depende de la textura del suelo, el contenido de humedad, y los niveles de sales y minerales. Se mide comúnmente en Siemens por metro (S/m) o decisiemens por metro (dS/m) (Coitiño-López et al., 2015).

(Gallart-Martínez, 2017) Indica que “La salinidad del suelo se determina mediante la conductividad eléctrica, medida en microsiemens por centímetro ($\mu\text{S}/\text{cm}$). Esta conductividad varía con la temperatura, por lo que para hacer comparaciones precisas, se expresa en relación a una temperatura estándar, generalmente 25°C . La medición de la conductividad del suelo se realiza en laboratorio con un conductímetro” (p. 5).

2.2.3 ACUIFERO

(Iturbe Arguelles, 2013) Define al acuífero como: “Si realizamos una excavación, podemos notar que el suelo se encuentra húmedo, sin embargo, en ciertas áreas, al profundizar más, el agua comienza a fluir con mayor intensidad. Esto indica el suelo está saturado de agua, lo que significa que los espacios entre las partículas del suelo están llenos de agua” (p. 6).

Figura 4
Acuífero



Nota. La figura representa el esquema de un acuífero (Iturbe Arguelles, 2013).

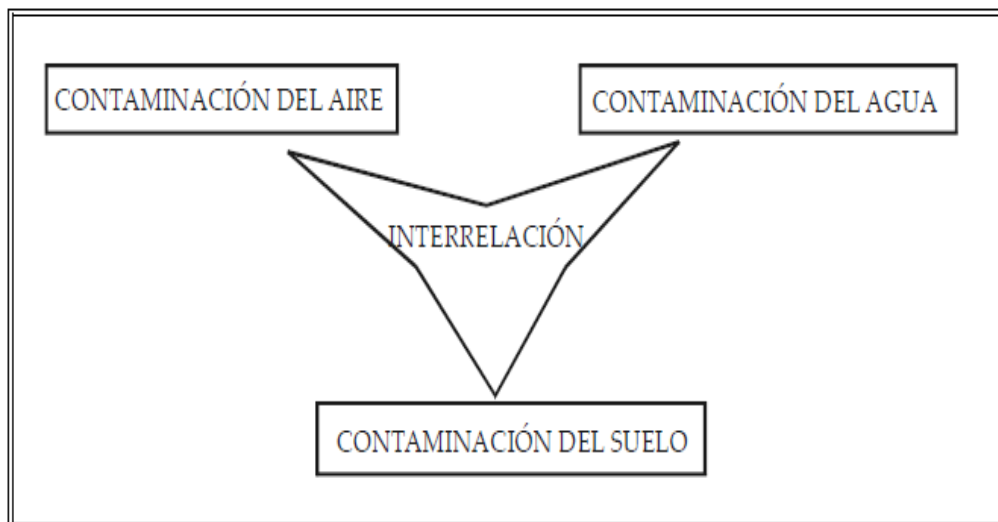
2.2.4 CONTAMINACIÓN

(Encinas, 2011) Señala que: “La contaminación se refiere a la presencia no deseada de sustancias o formas de energía en el aire, agua o suelo en concentraciones que pueden afectar la salud y el bienestar de las personas. Un medio ambiente estará contaminado si contiene algo que cause efectos negativos en él. Si ese algo no causa efectos negativos, el medio ambiente no se considerará contaminado y ese algo no será un contaminante” (p. 3).

(...) “La contaminación del aire, el agua y el suelo están estrechamente interconectadas y no pueden considerarse por separado. Los contaminantes pueden moverse fácilmente entre estos medios, lo que dificulta la resolución de los problemas de contaminación” (p. 3).

Figura 5

Relación de contaminación ambiental entre el suelo, agua y aire



Nota. Esquema de relación existente entre la contaminación de los tres vectores ambientales: aire, agua y suelo (Encinas, 2011)

(Encinas, 2011) señala que: “La contaminación del suelo ocurre cuando se acumulan sustancias tóxicas en niveles que afectan la productividad del suelo. A diferencia de lo que sucede en el aire y en el agua, los contaminantes en el suelo tienen una movilidad limitada, los procesos de dilución son casi inexistentes. Solo una pequeña cantidad de la contaminación se elimina a través del riego, la escorrentía y la lixiviación. Debido a que el desarrollo completo de un suelo puede llevar unos 10,000 años, cuando se contamina, el suelo no se regenera por sí solo” (p. 79).



2.2.4.1 FUENTES DE CONTAMINACIÓN

“Las fuentes de contaminación del suelo pueden ser naturales o artificiales. Una fuente natural sería la liberación excesiva de una sustancia durante la meteorización de la roca madre, siempre que esta sustancia se acumule y sea tóxica para el suelo, convirtiéndose así en un componente natural dañino” (Encinas 2011, p. 79).

Entre las fuentes artificiales están:

- Residuos Sólidos Urbanos (RSU)
- Residuos industriales (RSI)
- Productos como fertilizantes, pesticidas, plaguicidas.
- Depósito de contaminantes atmosféricos y lixiviados (filtrado).
- Lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales.

2.2.4.2 TIPOS DE CONTAMINANTES

(Encinas, 2011) Distingue entre contaminación endógena y la contaminación exógena:

“La contaminación endógena ocurre cuando un componente natural del suelo cambia su forma química, se acumula y se vuelve tóxico debido a una acción externa que causa un desequilibrio en el suelo” (p. 80).

(...) “La contaminación exógena se produce cuando los contaminantes provienen del entorno externo al suelo. Por ejemplo, la acumulación de iones

H⁺ en el suelo debido a la lluvia ácida es un caso de contaminación exógena” (p. 80).

Tabla 1

Fuente de contaminación y tipos de contaminación en el suelo

FUENTES DE CONTAMINACIÓN	TIPOS DE CONTAMINACIÓN	
	ENDÓGENA	EXÓGENA
NATURAL	Acumulación de una sustancia debido a una excesiva liberación en la disgregación de la ROCA MADRE	Acumulación de una sustancia procedente de una ERUPCIÓN VOLCÁNICA
ARTIFICIAL	Acumulación de una sustancia liberada del complejo de cambio debido a la LLUVIA ÁCIDA	Acumulación de una sustancia procedente de la LLUVIA ÁCIDA

Nota: Esta tabla muestra un ejemplo de la fuente de contaminación de un suelo extraído de Medio ambiente, contaminación. Principios básicos (Encinas, 2011)

2.2.5 RESIDUOS

“Un residuo es cualquier objeto, energía o sustancia (ya sea sólida, líquida o gaseosa) producido por las actividades humanas que no tiene utilidad ni valor y está destinado a ser eliminado” (Encinas 2011, p. 86).

(Comisión Nacional del Medio Ambiente, 1999) indica que: “Los residuos generados en diversas actividades incluyen aceites y lodos de limpieza de tanques, unidades de tratamiento de aguas residuales, trampas de grasas, entre otros. También se encuentran aceites usados de motores, emulsiones de aceite de limpieza de pisos, solventes, textiles contaminados como materiales absorbentes para derrames, envases plásticos y metálicos contaminados,

baterías usadas, neumáticos desechados y residuos sólidos domésticos de oficinas, minimercados y establecimientos de alimentos”

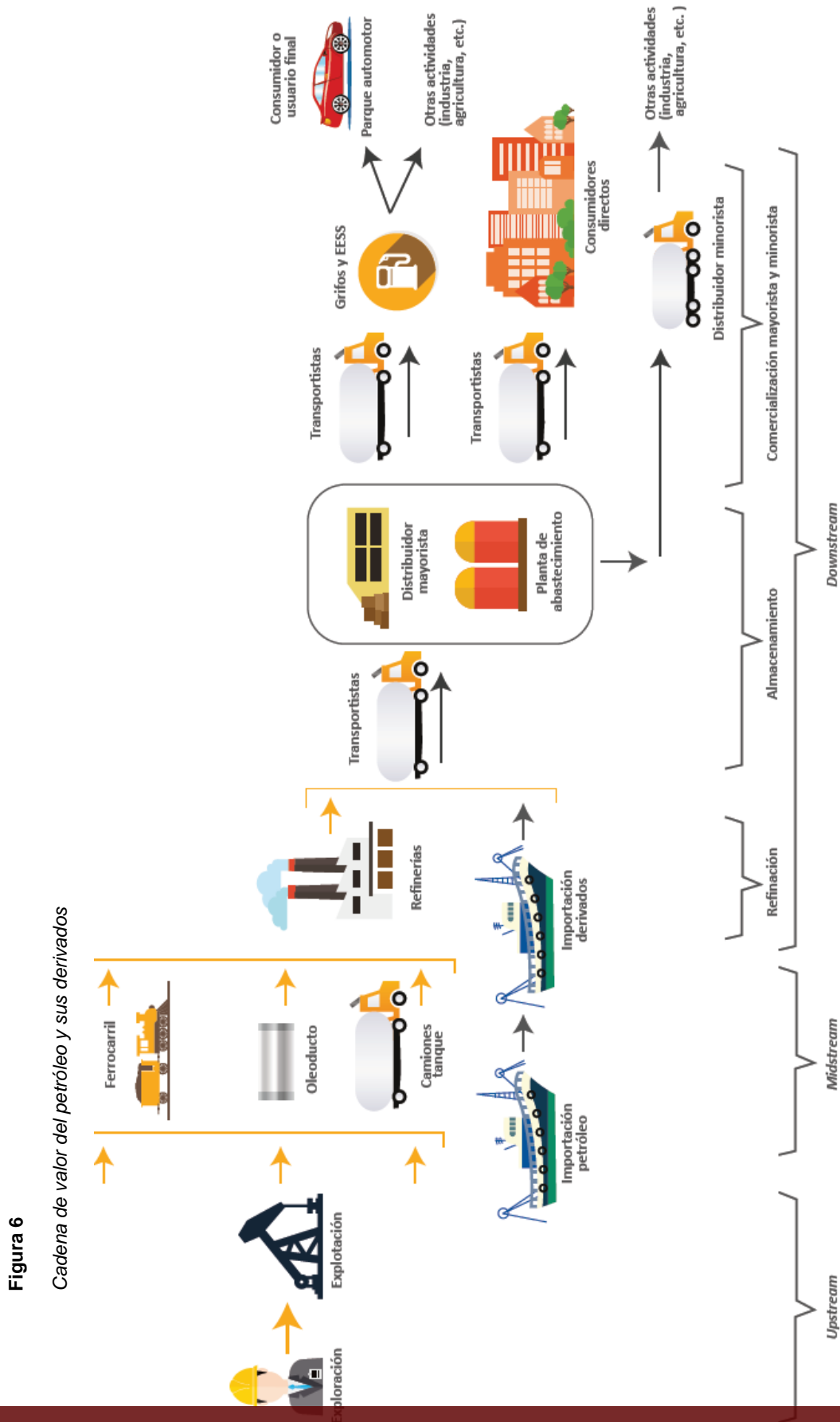
2.2.6 HIDROCARBUROS

(Osinermin et al., 2020) Señala que: “Los hidrocarburos son sustancias orgánicas compuestas exclusivamente por átomos de carbono e hidrógeno. La mayoría se encuentra en la naturaleza en forma de petróleo crudo” (p. 28).

(Sataloff et al., 2003) Señala que: “El petróleo crudo y sus derivados contienen moléculas de hidrocarburos formadas por átomos de carbono y de hidrógeno. Algunas estructuras moleculares, como las olefínicas inestables, se transforman en moléculas estables en los yacimientos con el tiempo. Los refinadores pueden hacer que estas combinaciones moleculares vuelvan a aparecer mediante diversos tratamientos sobre el petróleo crudo” (p. 3).

(Toledo Morán, 2009) Sostiene que : “El petróleo es una sustancia oleosa e insoluble en agua, con una densidad que varía entre 0.75 y 0.95 gr/ml, compuesta únicamente por carbono e hidrógeno, lo que la convierte en un hidrocarburo. Se clasifica en dos categorías: aromáticos y alifáticos” (p. 11).

(Osinermin et al., 2020) Señala que: “Los hidrocarburos líquidos incluyen el petróleo y gas natural. En la figura se analiza los segmentos upstream y downstream, y se describen las características relacionadas con la decisión de consumo de los agentes económicos (oferta y demanda)” (p. 28).



Nota: La figura muestra la cadena de valor del petróleo y sus derivados (Osinerghin et al. 2020)



(Toledo Morán, 2009) Señala que : “El petróleo se forma a partir de la descomposición de organismos vegetales y animales que quedan enterrados bajo capas de sedimentos. Con el tiempo, la presión, la temperatura y millones de años transforman estos restos en hidrocarburos. La proporción de carbono e hidrógeno en el petróleo varía según el tipo de yacimiento y su antigüedad, generalmente oscilando entre un 83% y un 86% de carbono y un 11% a un 13% de hidrógeno. A medida que aumenta el contenido de carbono, también lo hace la presencia de metales pesados. Además del carbono y el hidrógeno, el petróleo contiene pequeñas cantidades de azufre, nitrógeno y metales como níquel, cromo, hierro, vanadio y cobalto” (p. 13).

(Cuartas, 2012) Sostiene que: “El petróleo es un recurso natural no renovable formado por la descomposición de materia orgánica en ausencia de oxígeno, a altas temperaturas y presiones durante largos períodos. Esta descomposición da origen a gas natural, petróleo crudo y sus derivados. El petróleo está compuesto principalmente por hidrocarburos, que varían desde el gas metano hasta los alquitranes y bitúmenes pesados. Estos hidrocarburos pueden tener diferentes estructuras moleculares, como cadenas lineales, ramificadas, anillos simples, condensados y aromáticos. Los hidrocarburos aromáticos se dividen en dos grupos principales: los monocíclicos (BTEX) y los policíclicos (PAHs)” (p. 9).



COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL PETRÓLEO

(Cámara Argentina de Laboratorios Independientes, Bromatológicos, 2014) indica que: "El petróleo es una combinación altamente compleja compuesta principalmente por hidrocarburos, que son moléculas formadas por átomos de carbono e hidrógeno, además de incluir compuestos que contienen heteroátomos como azufre, nitrógeno u oxígeno, junto con concentraciones reducidas de elementos metálicos" (p. 2).

(...) "La complejidad de los productos derivados del petróleo aumenta a medida que aumenta el número de átomos de carbono presentes. La gasolina generalmente contiene una menor cantidad de componentes en comparación con el diésel, que tiene un número ligeramente mayor. Los componentes de los hidrocarburos pueden clasificarse en hidrocarburos saturados, insaturados y aromáticos" (p. 2).

Clasificación de los hidrocarburos del petróleo:

Hidrocarburos saturados

- Alifáticos: lineales o ramificados.
- Alicíclicos: Son hidrocarburos saturados que contienen uno o más anillos, los cuales pueden también incluir cadenas saturadas unidas. A menudo se les conoce como cicloalcanos. En la industria petrolera, son comúnmente referidos como naftalenos o cicloparafinas.



Hidrocarburos Insaturados

- Esta clase de compuestos no se encuentran en el petróleo crudo y son producidos principalmente en el proceso de craking en la producción.
- Alquenos / Olefinas: estos compuestos pueden ser cadenas lineales, ramificados o compuestos cíclicos.
- Alquinos / Acetilenos: estos compuestos se presentan en cadenas lineales y estructuras ramificadas.

Aromáticos

- Los compuestos aromáticos son una categoría especial de hidrocarburos insaturados, cuya estructura se basa en el anillo del benceno, compuesto por seis átomos de carbono. En la molécula de benceno, los átomos de hidrógeno pueden ser reemplazados por radicales alquilo, formando alquilbencenos; o puede haber múltiples anillos aromáticos unidos, resultando en hidrocarburos aromáticos policíclicos. La mayoría de los crudos y sus derivados contienen compuestos aromáticos, a excepción de algunos solventes derivados del petróleo
- Benceno: este es un anillo aromático simple.
- Alquilbenceno: estos compuestos tienen la base del anillo aromático con un radical alquilo unido.
- Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (PAHs): estos compuestos están formados por dos o mas anillos aromáticos unidos entre si.



- Los compuestos aromáticos son sustancias contaminantes que suelen encontrarse en áreas donde ha habido derrames de petróleo. Los monoaromáticos, tales como el benceno, el tolueno y los xilenos, son altamente solubles en agua y tienen la capacidad de desplazarse en el entorno ambiental.

2.2.7 REMEDIACIÓN

(Saval Bohórquez, 1998) Señala que: "Remediación se define como la acción de proporcionar solución a la contaminación o contaminantes presentes en el medio ambiente, ya sea en el suelo, aguas subterráneas, sedimentos o aguas superficiales, con el objetivo de proteger la salud humana y el ambiente, así como las tierras destinadas para el desarrollo" (p. 210).

(...) "La remediación suele ser un tema regulado por requisitos legales y puede estar fundamentada en evaluaciones de riesgos para la salud humana y el medio ambiente, especialmente en casos donde no existen estándares legales establecidos" (p. 210).

2.2.8 TÉCNICAS DE REMEDIACIÓN DE SUELOS

(Toledo Morán, 2009) Señalan que: "Las técnicas de remediación de suelos son procedimientos que cambian las propiedades de los desechos peligrosos o contaminantes utilizando métodos físicos, químicos y biológicos para reducir su toxicidad, volumen o capacidad de movimiento" (p.27).



(...) “Los métodos de remediación se clasifican en destructivos y no destructivos. Los destructivos cambian la estructura química del contaminante para eliminarlo, mientras que los no destructivos reducen su concentración aprovechando sus propiedades físicas y químicas, o lo inmovilizan para evitar su dispersión” (p. 27).

(...) “Las técnicas de remediación in situ no implican la excavación ni el transporte del suelo contaminado, lo que puede resultar en costos más bajos y una menor interrupción del entorno. Por otro lado, las técnicas ex situ implican la extracción del suelo contaminado para tratarlo en otro lugar, lo que suele ser más costoso pero permite un mayor control sobre el proceso de remediación” (p. 28).

(Ariza & Mejía, 2017) indica que “Landfarming es una técnica de remediación de suelos que busca reducir las concentraciones de hidrocarburos de petróleo mediante la remoción del suelo. Consiste en remover los suelos contaminados y depositarlos en la superficie del sitio en una capa delgada, para luego estimular la actividad microbiana aeróbica mediante la aireación, la adición de nutrientes y la regulación de la humedad”



2.2.8.1 Métodos de implementación del Landfarming

La aplicación del método de Landfarming tiene como objetivo disminuir los niveles de contaminantes en el suelo, pudiendo realizarse tanto "in situ" como "ex situ", según el grado de contaminación y la profundidad del suelo.

“Se considera que un proceso es IN SITU cuando la contaminación no supera los 50 cm de profundidad y no requiere una acción inmediata. En este método, se acondicionan las condiciones necesarias para mantener la vida y el desarrollo de los microorganismos presentes en el suelo contaminado. Se deben tener en cuenta factores como el clima, la adición de nutrientes, la eventual adición de agua y el suministro constante de oxígeno, que solo llega hasta los 30 cm de profundidad” (Salinas & Sarmiento, 2020)

(Sierra Gomez, 2021) Señala que: “El suministro de oxígeno es crucial en los métodos IN SITU, pero puede ser limitado. Para superar esta limitación, se utilizan agentes de carga que ayudan a transportar el aire a los espacios donde el oxígeno es escaso. Este enfoque operativo requiere tecnología básica, no implica excavación profunda y es de bajo costo. Se emplean microorganismos nativos para la biorremediación, lo que puede llevar más tiempo y tener resultados variables, especialmente en altas concentraciones de contaminantes. En estos casos, se pueden usar microorganismos exógenos más resistentes” (p. 37).



(Machuca Manrique, 2014) Indica que: “El tratamiento in situ implica reducir la generación de materiales volátiles al remover tierra, lo cual puede ser efectivo según la textura del suelo. Esta textura facilita estimar la filtración de los lixiviados por microorganismos y determinar si afectan la capa freática. En suelos muy permeables, a veces se usan geotextiles o membranas impermeables para prevenir la filtración. El éxito de este método depende del pH, la humedad y la cantidad de microorganismos presentes” (p 35)

(Sierra Gomez, 2021) Señala que: “El enfoque EXSITU implica excavar y transportar el suelo contaminado a un sitio cercano con las condiciones adecuadas para llevar a cabo el proceso. Inicialmente, esto conlleva costos adicionales y el riesgo de contaminación durante el transporte. Sin embargo, este método es altamente competitivo y eficaz en la biodegradación de contaminantes. Además, requiere un mínimo equipo para su implementación” (p. 38).

El método ex situ del landfarming es evaluar los suelos en diferentes etapas acondicionando el lugar donde se colocarán los nutrientes, iniciando con la identificación del lugar y otros procesos que se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 2*Aspectos para la implementación del landfarming*

ASPECTOS	ESPECIFICACIONES
Distancia de la zonificación residencial	500 m a partir del límite establecido
Distancia desde la masa de agua superficial (potables, no potables)	500 m a partir del límite establecido
Distancia desde la masa de agua subterránea (potable)	500 m a partir del límite establecido
Restricción de áreas sensibles	Es importante identificar las restricciones que puedan existir en el área de trabajo para evitar impactos indirectos en especies específicas, como comunidades indígenas.
Inclinación o grado del sitio	Lugar con una pendiente natural 5% de lo contrario se tiene que nivelar
Hidrología	La ubicación del sitio debe tener un nivel freático superior a 3m y este no debe desarrollarse en un sitio con llanura aluvial de 50 años

Nota: Esta tabla muestra los aspectos relevantes en el emplazamiento del suelo para la implementación de landfarming.

Extraído de Plan de acción federal para sitios contaminados (Salinas & Sarmiento, 2020)

2.2.8.2 Extracción por fluidos

(Toledo Morán, 2009) Afirma que: “La extracción por fluidos implica separar los contaminantes usando aire o agua para arrastrarlos a un lugar donde puedan ser tratados adecuadamente” (p. 28).

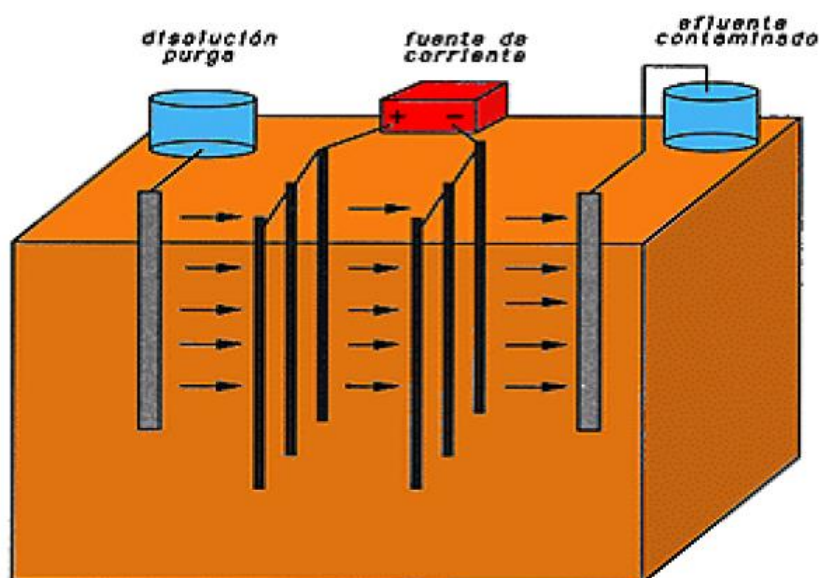
(..) “Este método es simple pero efectivo cuando el contaminante y el suelo son adecuados, siendo menos efectivo en suelos con alta capacidad de absorción” (p. 29).

2.2.8.3 Tratamiento electroquímico

(Toledo Morán, 2009) Afirma que: “Este método utiliza campos eléctricos para mover los contaminantes en el suelo entre electrodos, facilitando su extracción” (p. 29).

(...) “Este método transporta los contaminantes a través de poros de diferentes tamaños, lo que lo hace efectivo independientemente de la textura y permeabilidad del suelo. Es especialmente útil para tratar metales pesados y compuestos orgánicos” (p.30).

Figura 7
Esquema de proceso de electroremediación



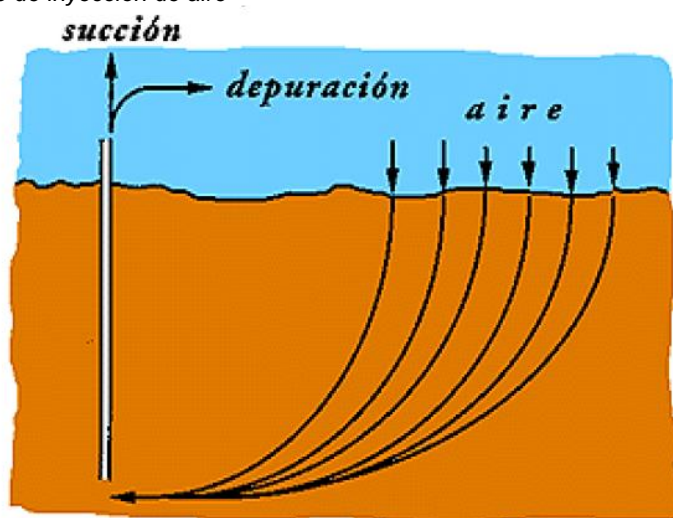
Nota. Esquema de proceso de electroremediación (Toledo Morán 2009)

2.2.8.4 Inyección de aire

(Toledo Morán, 2009) Afirma que: “La inyección de aire implica introducir aire u oxígeno a presión en el suelo mediante pozos de inyección. Esto estimula la degradación de los hidrocarburos mediante la volatilización y la biodegradación, al aumentar la actividad bacteriana por la mayor oxigenación del suelo” (p. 30).

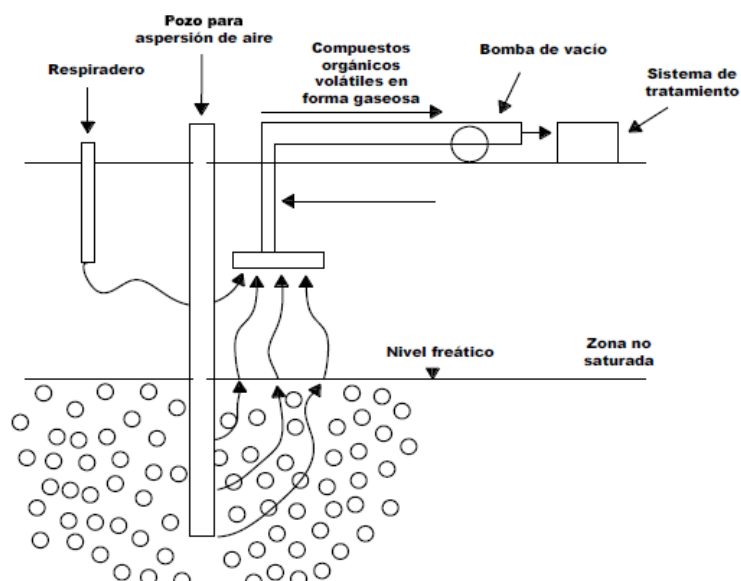
“Las moléculas más pequeñas se degradan con mayor facilidad, pero el proceso es lento y los contaminantes se devuelven a la atmósfera sin ser depurados. A pesar de esto, estos compuestos suelen degradarse rápidamente” (Toledo Morán 2009, p. 31).

Figura 8
Esquema de proceso de inyección de aire



Nota. Esquema de proceso de depuración de un suelo por aire (Toledo Morán 2009)

Figura 9
Sistema combinado de extracción de vapores del suelo y aspersión de aire



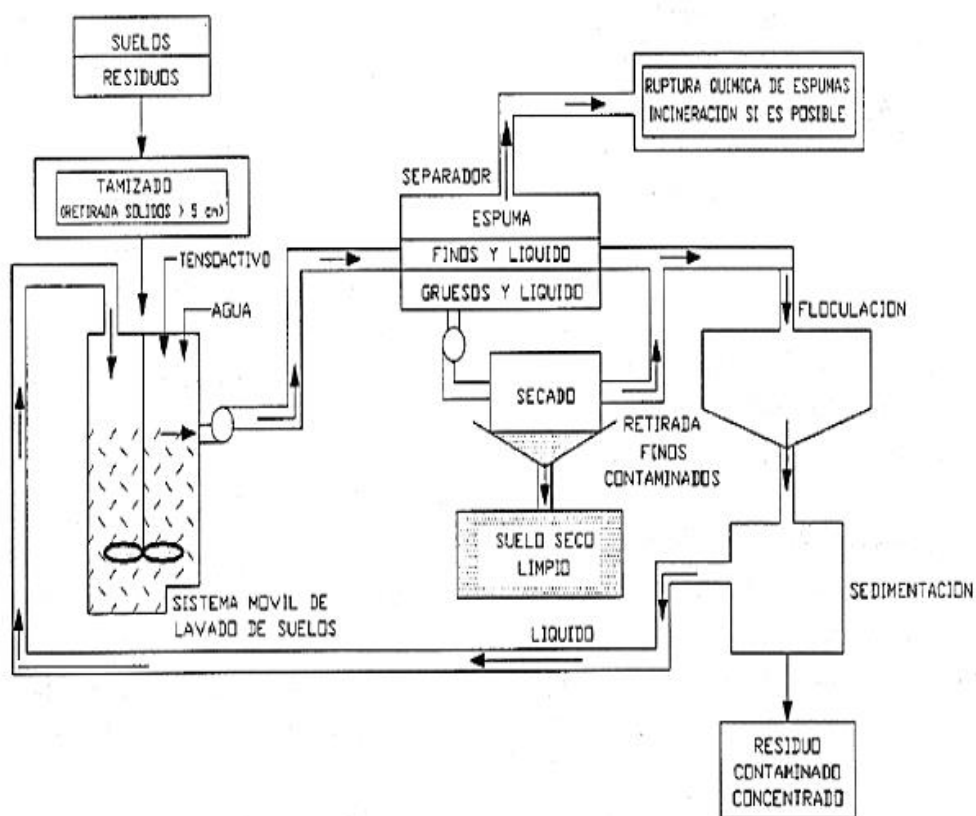
Nota. Sistema combinado de extracción de vapores del suelo y aspersión de aire (Toledo Morán 2009)

2.2.8.5 Enjuague del suelo

(Toledo Morán, 2009) Señala que: “Esta técnica implica saturar el suelo con una solución que transporta los contaminantes a un lugar donde puedan ser extraídos. La composición de la solución varía según el contaminante y generalmente incluye agua con aditivos como ácidos o hidróxidos” (p. 32).

Figura 10

Esquema de una planta de enjuague de suelos



Nota. Esquema de una planta de enjuague de suelos (Toledo Morán 2009)

“Se utiliza agua para disolver contaminantes fácilmente solubles, para metales y contaminantes orgánicos comunes en el reciclaje de baterías, se emplean soluciones ácidas. Las soluciones básicas se usan para tratar fenoles y ciertos metales” (Toledo Morán 2009, p. 32).



(Toledo Morán, 2009) Afirma que: “En áreas con arcilla o limo, los resultados no son ideales porque la solución de lavado no puede moverse libremente ni entrar en contacto fácilmente con el contaminante. Además, los aditivos presentes en el enjuague pueden contaminar el agua subterránea si no se eliminan por completo” (p. 32).

(...) “Cuando hay varias sustancias peligrosas como metales y aceites presentes, este método de tratamiento es menos efectivo porque es difícil realizar un enjuague que pueda eliminar múltiples contaminantes al mismo tiempo” (p. 32).

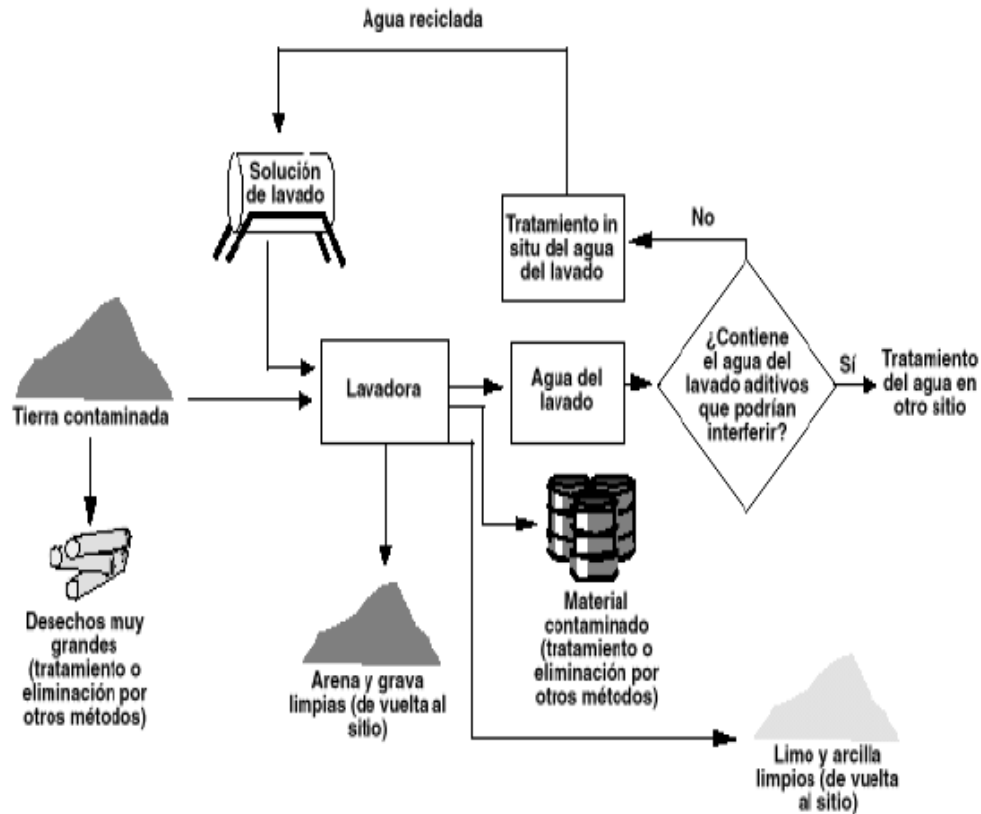
2.2.8.6 Extracción con solventes

(Toledo Morán, 2009) Señala que: “Este método implica el uso de solventes para separar o retirar los contaminantes inorgánicos peligrosos, concentrándolos para su posterior reciclaje o eliminación más sencilla” (p. 32).

Los solventes utilizados principalmente para la extracción con solventes son:

- Dióxido de carbono líquido
- Butano
- Propano
- Acetona
- Metanol
- Éter di metílico

Figura 11
Proceso de extracción con solventes



Nota. Esquema de Proceso de extracción con solventes (Toledo Morán 2009)

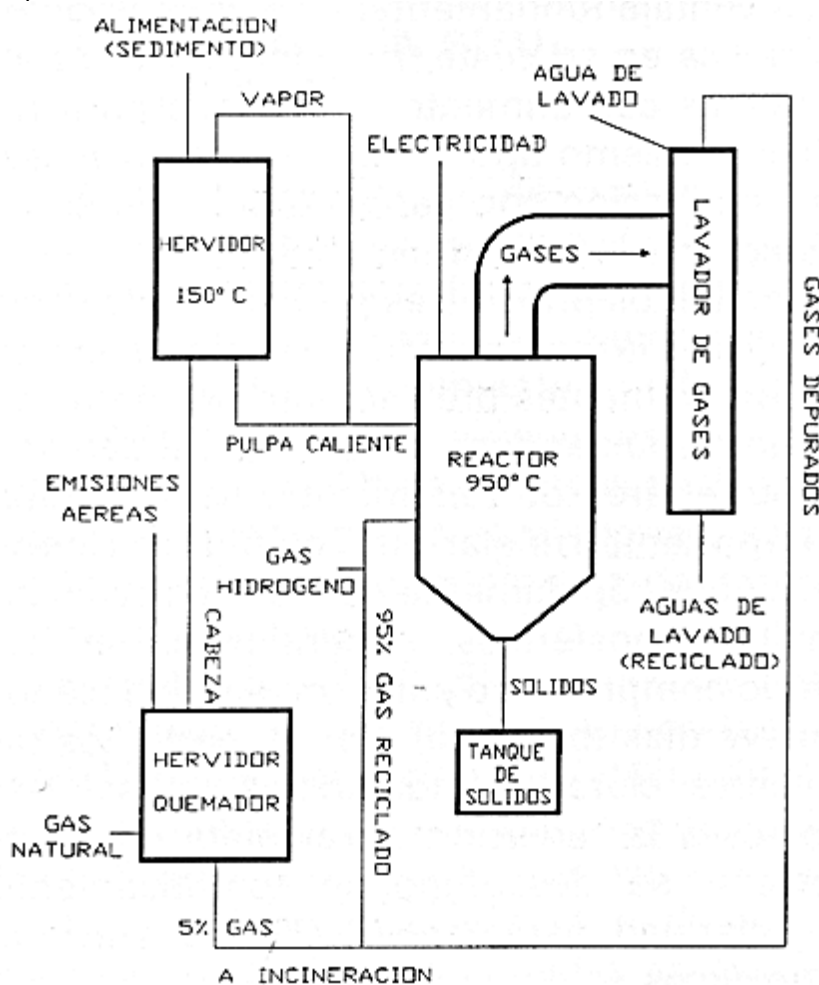
Este enfoque divide la tierra contaminada en tres partes: agua, sólidos y solventes con contaminantes disueltos, los cuales se pueden tratar por separado. Es eficaz para fangos residuales, suelos con contaminantes orgánicos y desechos de petróleo, pero no es adecuado para contaminantes inorgánicos debido a la dificultad de disolverlos en la mayoría de los solventes.

2.2.8.7 Incineración

(Toledo Morán, 2009) Señala que: “La incineración se usa para eliminar sustancias orgánicas y, en ocasiones, transformar sustancias inorgánicas en

sólidos inertes y gases mediante un proceso controlado. Este método convierte los metales pesados en óxidos menos dañinos. Además, ha demostrado ser eficaz en la eliminación de compuestos derivados de plaguicidas, con resultados positivos” (p. 36).

Figura 12
Esquema de incineraciones



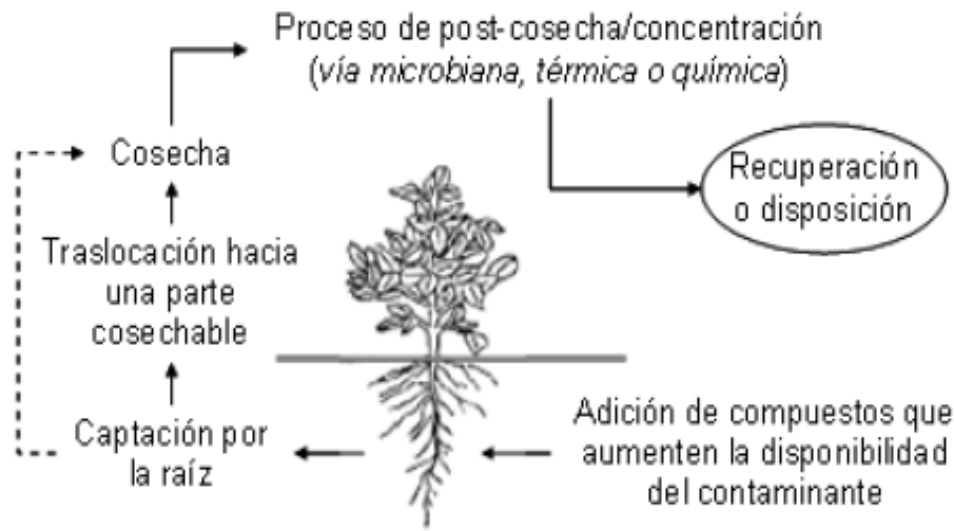
Nota. Esquema de incineraciones (Toledo Morán 2009)

2.2.8.8 Fitorremediación

(Toledo Morán, 2009) Señala que: “La fitorremediación emplea plantas para limpiar suelos contaminados, ya que estas absorben, inactivan o extraen

los contaminantes, acelerando la descomposición de compuestos orgánicos” (p. 37).

Figura 13
Proceso de fitorremediación



Nota. Proceso de fitorremediación. (Toledo Morán 2009)

La fitorremediación es un proceso más lento que otros métodos y su eficacia está limitada por la profundidad de las raíces de las plantas. Se recomienda su uso para eliminar los restos de contaminantes después de aplicar otras técnicas, especialmente en áreas con concentraciones bajas de contaminantes.

222.8.9 Biorremediación

(Toledo Morán, 2009) Señala que: “La biorremediación utiliza microorganismos para descomponer contaminantes en sustancias menos tóxicas, convirtiendo el suelo en apto para la agricultura” (p. 39).



(...)” Algunos microorganismos utilizan sustancias orgánicas como fuente de nutrientes y energía para degradar los contaminantes, produciendo dióxido de carbono y agua. Una vez que los contaminantes se han degradado y los microorganismos agotan su fuente de alimento, su población disminuye hasta desaparecer” (p. 40).

2.2.8.10 Tratamiento térmico

(Toledo Morán, 2009) Indica que: “La técnica de tratamiento térmico consiste en aplicar calor al suelo contaminado a altas temperaturas para desintegrar los contaminantes. Se realiza en dos fases: oxidación de los contaminantes y eliminación completa de los mismos y los gases. Es efectiva para tratar la contaminación por hidrocarburos policíclicos aromáticos, se utiliza calor a temperaturas moderadas (entre 250 y 550 °C)” (p. 41).

2.2.8.11 Atenuación natural

(Toledo Morán, 2009) Indica que: “Esta técnica, aunque no es formalmente una estrategia de remediación, forma parte de las técnicas in situ de bajo costo. Se basa en la biotransformación natural, aprovechando los procesos físico-químicos naturales entre el suelo y el contaminante” (p. 42).

2.2.8.12 Biolabranza

“El método implica agregar agentes al suelo y labrarlo para mejorar la aireación. Es simple y no requiere tecnología avanzada, pero necesita mucho



espacio y puede causar problemas de contaminación del aire. Los costos pueden ser altos si la contaminación es profunda. Se puede aplicar fuera del sitio también.” (Duran, M., y Contreras, N., 2006).

2.2.8.13 Bioestimulación

“Se trata de estimular los microorganismos naturales para acelerar la degradación de contaminantes. Esto se logra añadiendo nutrientes como nitrógeno y fósforo, que son esenciales para la producción de aminoácidos y enzimas, y para la formación de compuestos energéticos dentro de las células. También se puede estimular con la adición de agua y oxígeno, especialmente si el área ya tiene suficientes nutrientes. Los nutrientes pueden ser de origen agrícola u orgánico, como estiércol” (Taccaria, M., et al, 2012).

2.3.9 INDICADORES DE CALIDAD AMBIENTAL (ECA)

Es un instrumento de gestión que determina los niveles seguros de sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos en el aire, agua o suelo, con el objetivo de no representar un riesgo significativo para la salud humana o el medio ambiente. La evaluación de estos elementos se realiza directamente en los cuerpos receptores correspondientes, ya sea agua, suelo o aire, según sea necesario en cada caso específico.

2.3.9.1 Estándares de calidad ambiental del suelo

El Decreto Supremo No. 011-2017-MINAM, aprobado el 2 de diciembre de 2017, establece los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) del suelo, que

determinan los niveles de concentración seguros de elementos y sustancias en el suelo para proteger la salud humana y el medio ambiente.

En lo referente a los parámetros del suelo son los siguientes:

- En general, el pH óptimo de los suelos agrícolas debe variar entre 6.5 y 7.0 para obtener los mejores rendimientos y la mayor productividad (Ibarra-Castillo, 2009).
- Según precedentes la conductividad eléctrica en suelos debe ser el siguiente:

Tabla 3

Clasificación de la salidad de suelo según el tipo de conductividad eléctrica

Clasificación	CE del Extracto (uS/cm)
Suelo con baja concentración de sales y minerales. No salinos los cuales no afectan a los cultivos.	<400
Suelos Ligeramente conductivos con una concentración de sales y minerales ligeros. Puede disminuir el rendimiento de cultivos sensibles.	400-1600
Suelos moderadamente conductivos con una concentración de sales y minerales, moderadamente salino. Puede disminuir el rendimiento de muchos cultivos.	1600-2400
Salino. Sólo cultivos tolerantes tendrán rendimiento satisfactorio.	2400-3200
Suelos altamente conductivos con una concentración muy alta de sales y minerales. Extremadamente salino. Sólo cultivos muy tolerantes tendrán rendimiento satisfactorio.	>3200

Nota: Conductividad eléctrica del agua y suelo (Asesoría agrícola y Capacitaciones, 2023)

- Es crucial determinar las necesidades nutritivas específicas de cada planta para aplicar el fertilizante apropiado o la combinación adecuada de nutrientes. En el caso de los macronutrientes, se dividen en dos categorías principales:
 - Nutrientes primarios: **nitrógeno, fósforo y potasio.**
 - Nutrientes secundarios: magnesio, azufre y calcio.



2.3. MARCO CONCEPTUAL

Actualmente, la contaminación del agua y el aire es un problema grave, incluso el agua de lluvia que observamos en ciertas épocas se contamina antes de llegar al suelo, afectando tanto al suelo como al subsuelo debido a la estrecha relación entre estos elementos (Iturbe Arguelles, 2013). Es por ello que se debe tener en cuenta en proteger y remediar toda contaminación sobre estos recursos fundamentales en la vida.

También hoy en día no se puede ignorar que el hombre utiliza el petróleo como un importante combustible (González et al., 2011), su ocurrencia en el ambiente ha repercutido en los últimos 100 años. En la actualidad los hidrocarburos continúan siendo utilizados como una fuente importante de energía y por tanto, producen una gran contaminación a nivel global (Hormaeche Azumendi et al. 2008).

El petróleo y sus derivados han sido una fuente crucial de energía y materiales para la humanidad, utilizados en una amplia gama de aplicaciones como transporte, industria química, manufactura de plásticos y más. Es el recurso energético más significativo en la historia, siendo responsable de una gran parte del consumo mundial de energía, desde el 32% en Europa y Asia hasta el 53% en Oriente Medio (Vasallo, J., y Herrera, D., 2002).

Los siguientes detalles nos ayudaran a entender por qué el petróleo somete a las principales empresas:



- El 80-95% de todo el transporte funciona con productos petrolíferos
 - El 50-75% de todo el petróleo se usa para el transporte
 - Todos los productos petroquímicos se hacen con petróleo
 - El 99% de todos los lubricantes se hacen con productos petrolíferos
 - El 95% de todos los bienes en las tiendas llegan allí utilizando petróleo
 - El 99% de nuestra comida está relacionada con el petróleo o el gas para los fertilizantes, química, labrado y cultivo de la tierra y distribución.
 - El petróleo es la fuente más importante de energía primaria del planeta y representa el 36,4% de toda la energía
- (Hormaeche Azumendi, 2008).

2.3.1 LA IMPORTANCIA DEL PETRÓLEO EN LA SOCIEDAD

“La historia del petróleo como recurso crucial para el desarrollo humano es breve, con menos de doscientos años de antigüedad. Inició su comercialización alrededor de 1850 bajo el nombre de "aceite de roca" por Samuel Kier en Pittsburg, Pennsylvania. A partir de entonces, la industria petrolera ha crecido enormemente, dejando una marca significativa en la configuración del mundo moderno” (Vasallo, J., y Herrera, D., 2002).

“El petróleo es muy diverso en sus componentes, lo que hace que sea poco probable encontrar dos tipos idénticos. Su calidad se diferencia por parámetros como los del Instituto Americano del Petróleo (API). Entre más alto sea el grado API de un petróleo, mejor será su calidad” (Cuartas 2012, p. 9).

(...) “En los últimos años, la industria petrolera ha sido cada vez más importante para la economía de Perú. Esto se debe a su notable contribución al producto interno bruto, su gran participación en las exportaciones totales y su papel fundamental como fuente de ingresos fiscales tanto a nivel nacional como local” (p. 9).

2.3.2 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA BIORREMEDIACIÓN

(Torres Delgado & Zuluaga Montoya, 2013) señala las siguientes ventajas y desventajas:

VENTAJAS

- En la biorremediación, se produce una baja transferencia de contaminación de un medio a otro, ya sea entre gases, líquidos o sólidos.
- Este proceso típicamente no necesita de estructuras o dispositivos mecánicos que puedan representar un peligro para el entorno.
- En términos económicos, es una opción viable, y al ser un proceso natural, suele ser aceptado por la población.

DESVENTAJAS

- La descomposición parcial puede producir subproductos metabólicos que son contaminantes y pueden ser igualmente o más perjudiciales que el producto original, y ciertos contaminantes pueden ser tan persistentes que incluso pueden impedir el proceso de biorremediación.



- Resulta complicado anticipar la duración necesaria para un proceso efectivo, y monitorear y controlar la velocidad y alcance del proceso puede ser costoso y laborioso.

Entendiendo el principio de biorremediación es que se pretende remediar los suelos contaminados con hidrocarburos no por un proceso o adición de bacterias o plantas (Cossio et al., 2012), sino con componentes químicos como la urea $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$. La urea es un fertilizante nitrogenado que se agregó a la agricultura chilena en los años 60. Su utilización comenzó con dudas, las que se han venido resolviendo con la experiencia adquirida por los agricultores y técnicos, desde su inicio esta sustancia ha competido con el salitre, dominando en el mercado nacional aun sabiendo que sus propiedades no son muy conocidas (Fernández, 1984).

2.3.3 LA UREA

(Elsa Zotta, 2009) Señala que: “Desde tiempos antiguos, el ser humano ha mostrado interés en las funciones del cuerpo, las enfermedades y sus tratamientos. A lo largo de la historia, desde épocas de pensamiento mágico hasta descubrimientos científicos recientes, el riñón ha sido un tema de gran interés. En la mitad del siglo XX, la introducción de técnicas avanzadas en microscopía permitió un mayor entendimiento de las estructuras renales y su relación con las funciones del riñón. Tecnologías como la fluorescencia y la biología molecular han ampliado aún más este conocimiento” (p. 35).



(Crespo González, 2018) Señala que:” La urea ($\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$) es un compuesto químico cristalino e incoloro, Se encuentra abundantemente en la orina y en la materia fecal. Es el principal producto terminal del metabolismo de las proteínas en el hombre y en los demás mamíferos” (p. 3).

(Fernández, 1984) Indica que:” El 91% de la urea producida se utiliza como fertilizante, que se emplea para proporcionar nitrógeno al suelo y favorecer el crecimiento de las plantas. La urea es beneficiosa porque contiene niveles elevados de nitrógeno, esencial para el metabolismo vegetal y el crecimiento de tallos y hojas, importantes para la fotosíntesis. El nitrógeno también es fundamental en vitaminas, proteínas y el contenido proteico de los cereales” (p.3).

Es importante destacar que la efectividad de la urea como agente químico para la remediación del suelo, depende de la cantidad y tipo de contaminantes presentes, así como la actividad microbiana natural en la zona. Además, la aplicación de la urea debe realizarse con cuidado y bajo la supervisión de expertos para evitar posibles impactos negativos en el medio ambiente.

Figura 14
Urea



Nota. En la figura muestra urea común de agricultura (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego 2022)

2.3.4 NITRÓGENO

(Sembralia, 2020) Indica que: “La "N" es el símbolo químico del nitrógeno, esencial para el crecimiento y la regeneración de las plantas. Las plantas absorben nitrógeno en forma de nitrato (NO_3^-) o amonio (NH_4^+), y dentro de la planta se convierte en aminoácidos y proteínas” (p. 1)

(...) “Participa en todos los procesos clave del crecimiento de las plantas y su producción” (p. 1)

2.3.5 FÓSFORO

(Sembralia, 2020) Indica que: “El fósforo, simbolizado por "P", es vital para la transferencia de energía en la fotosíntesis y otros procesos químicos y fisiológicos. Sus funciones clave incluyen la transmisión y almacenamiento de energía, la diferenciación celular, el desarrollo de tejidos y la formación de

raíces. Es fundamental en todas las etapas del cultivo, desde el crecimiento inicial hasta la cosecha” (p.1).

“Nota: El fósforo suele ser escaso en muchos suelos naturales o agrícolas, donde su disponibilidad se ve limitada por procesos de fijación” (p. 1)

2.3.6 POTÁSIO

(Sembralia, 2020) Indica que: “La "K" representa al potasio, esencial para que las plantas absorban agua y aumenten su resistencia a condiciones adversas como sequías, heladas y suelos salinos. También es crucial para el equilibrio hídrico, la síntesis de carbohidratos y proteínas, y activa numerosas enzimas. El potasio es uno de los elementos principales en las fórmulas NPK de los fertilizantes” (p. 1).

2.3.7 TIPOS DE COMPOSICION EN LOS ABONOS

(Sembralia, 2020) señala que: “Los fertilizantes pueden tener una composición NPK, que incluye los tres nutrientes principales (nitrógeno, fósforo y potasio), o pueden ser simples, consistiendo únicamente en uno de estos tres nutrientes. Estos elementos pueden presentarse en forma sólida, como microgránulos o gránulos, o en forma líquida” (p. 1)

(...) “Existen diferentes tipos de fertilizantes NPK disponibles en el mercado para satisfacer las necesidades nutricionales variables de las plantas. Por ejemplo, ciertas plantas pueden requerir un fertilizante con una proporción NPK específica, como 15-5-10, lo que indica un contenido del 15% de



nitrógeno, 5% de fósforo y 10% de potasio. Es esencial considerar la relación entre estos nutrientes, ya que sus concentraciones pueden variar significativamente. Además, es importante recordar que cada tipo de cultivo tiene requerimientos nutricionales únicos” (p. 1).

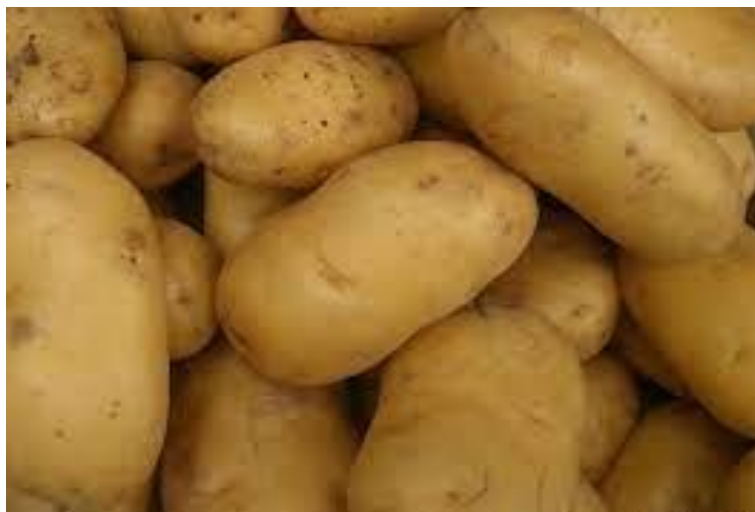
(...) “La cantidad de nutrientes requeridos por un cultivo depende en gran medida de su rendimiento actual o esperado. Es crucial aplicar fertilizantes de manera equilibrada para aprovechar al máximo su eficacia” (p. 1)

2.3.8 DOSIS NPK óptima en cultivo de papa (*Solanum tuberosum*)

Hay varias recomendaciones para fertilizar adecuadamente los cultivos de patata (Chamberland et al., 1968), actualmente se recomiendan unas dosis de:

- 78 kg/ha de nitrógeno (FAO, 1992),
- 78 kg/ha de óxido de fósforo y
- 120 kg/ha de óxido de potasio

Figura 15
Papa



Nota. Papa (INFOAGRO 2023)

(INFOAGRO, 2023) Señala que: “Para una aplicación eficaz, es necesario utilizar todo el nitrógeno, fósforo y potasio antes de la siembra, evitando el contacto con los tubérculos” (p. 1).

2.3.9 DOSIS NPK óptima en cultivo de trigo (*Triticum aestivum*)

Dependiendo del cultivo previo en el suelo, se aconseja estudiar las cantidades óptimas de nutrientes para obtener un buen rendimiento en trigo, especialmente con una irrigación adecuada (Al-Hilfy et al., 2019), Para un rendimiento medio, se sugieren las siguientes dosis::

- 60 a 110 kg/ha de nitrógeno,
- 40 a 50 kg/ha de óxido de fósforo y de óxido de potasio.

Figura 16
Trigo



Nota. Trigo (INFOAGRO 2023)

(INFOAGRO, 2023) Señala que: “Se recomienda aplicar la mitad del nitrógeno y todo el fósforo y potasio antes de sembrar, y la otra mitad del nitrógeno después de sembrar, como abono de cobertura para el primer riego” (p. 1).

3.3.10 DOSIS NPK óptima en cultivo de maíz (Zea mays)

Para fertilizar adecuadamente el maíz, se recomienda aplicar la dosis sugerida por (Purnomo et al., 2019):

- 45 a 90 kg/ha de nitrógeno,
- 30 a 45 kg/ha de óxido de fósforo y
- 30 kg/ha de óxido de potasio (FAO, 1992).

Figura 17
Maíz



Nota. Forma eficiente de cultivo de maíz (INFOAGRO 2023)

(INFOAGRO, 2023) Señala que: “Para una aplicación eficaz, se sugiere dividir la aplicación de nitrógeno en tres partes y aplicar todo el fósforo y potasio junto con la primera dosis de nitrógeno al momento de la siembra.” (p. 1).



CAPÍTULO III

PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

La metodología de investigación para la remediación de suelos contaminados por hidrocarburos implica una serie de pasos y técnicas específicas para identificar, evaluar y tratar la contaminación. A continuación, se presenta el procedimiento general de la metodología aplicada según las características particulares del estudio.

Revisión de la literatura; Realizar una revisión exhaustiva de la literatura científica y técnica relacionada con la remediación de suelos contaminados por hidrocarburos. Luego identificar las tecnologías y enfoques más recientes y efectivos utilizados en investigaciones previas.



Caracterización del sitio; identificando el estrato de suelo con más resistencia con fines de cimentación para tomarlo como muestra natural, incluyendo la geología, hidrogeología, topografía y condiciones climáticas.

Luego controlar la contaminación por hidrocarburos del suelo, su extensión y la profundidad. Para su remediación se utiliza la urea y el proceso de landfarming.

En el proceso de landfarming, los suelos contaminados se extienden en capas delgadas sobre la superficie y se les agrega una mezcla controlada de nutrientes, agua y oxígeno para crear un ambiente propicio para la actividad microbiana. Algunos aspectos clave del landfarming incluyen:

Aireación: Se puede utilizar maquinaria para voltear y airear los suelos, proporcionando oxígeno necesario para las bacterias aeróbicas que participan en el proceso de biodegradación.

Monitoreo: Se realiza un monitoreo constante de parámetros como la temperatura, la humedad y la concentración de contaminantes para asegurar condiciones óptimas para la biodegradación.

Adición de Nutrientes: Se agregan nutrientes (como nitrógeno y fósforo) para estimular el crecimiento de microorganismos y mejorar la eficacia del proceso.

Control de Olores: Debido a que la descomposición de contaminantes puede generar olores desagradables, en algunos casos se implementan medidas para controlar y mitigar estos olores.

3.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El diseño de investigación en una tesis se refiere al plan o estructura metodológica que se emplea para abordar y responder a las preguntas de investigación planteadas. Este diseño es esencial en la planificación y ejecución de cualquier proyecto de investigación, ya que proporciona la hoja de ruta para obtener datos relevantes y responder a los objetivos planteados.

El diseño de la investigación es cuasiexperimental; se utiliza cuando el investigador desea establecer relaciones de causa y efecto entre variables. Implica la manipulación de una variable independiente y la observación de sus efectos en una variable dependiente (Hernández-Sampieri et al., 2006).

Línea de Investigación: CONTAMINACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL - P67.

Enfoque de Investigación: la investigación es de enfoque cuantitativo, que se centra en la recopilación y el análisis de datos numéricos para describir, medir y analizar fenómenos. En este tipo de investigación, se busca cuantificar variables y examinar relaciones causales entre ellas. El enfoque cuantitativo se caracteriza por su énfasis en la objetividad, la medición precisa y la utilización



de métodos estadísticos para analizar los datos. (Hernández-Sampieri et al., 2006). Sincrónica (estudiado en un periodo corto de plazo) y de gabinete (Vera, 2013).

3.3. NIVEL DE INVESTIGACIÓN

El nivel de investigación en una tesis se refiere al grado de profundidad y complejidad que se emplea al abordar un problema o pregunta de investigación.

Nivel de Investigación: Aplicativo (Hernández-Sampieri et al., 2006)

Tipo de Investigación: EVALUATIVA – CORRELACIONAL

3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA

Población: Suelos contaminados por hidrocarburos en la ciudad de Juliaca presentes en las estaciones de servicio de combustible o alrededores.

Muestra: suelos contaminados por hidrocarburos de estrato de suelo con mayor capacidad de soporte de la urbanización Anexo Jesús Nazareno Mz. "C" lote 10.

Tipo de Muestreo: El muestreo es a conveniencia, intencional a criterio del investigador (Quezada Lucio, 2010).

3.5. TÉCNICAS É INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

Las herramientas utilizadas para recopilar datos y obtener información relevante para abordar las preguntas de investigación son los siguientes:

Técnicas de Investigación:

- a.- Muestreo y análisis del suelo
- b.- Adición de urea
- c.- Observación directa
- d.- Descripción y medición de los parámetros del suelo.

Instrumentos de Investigación: Laboratorio de la Universidad Peruana
Unión e informes de laboratorio, software de análisis de datos.

3.6. FUENTES DE INVESTIGACIÓN

Se utilizarán primarias mediante observación directa y secundarias tomando información bibliográfica para los parámetros, marco teórico y conceptual (Nel Quezada, 2010).

3.7 . RECOLECCIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS

3.7.1 Proceso de recolección de muestras y contaminación

En esta investigación se realizó EL MÉTODO DE DEGRADACIÓN DE HIDROCARBUROS POR ESTIMULACIÓN MEDIANTE NUTRIENTES (UREA) Y LANDFARMING. Para Esta actividad se ubicaron celdas cargadas con 15000 gr. de muestra natural del estrato de mejor capacidad de soporte para una



cimentación. También se habilitaron zonas de tratamiento en un área adecuada para el método landfarming a pequeña escala además de las instalaciones de la Universidad Peruana Unión. Laboratorio de Ingeniería Ambiental, que se distribuyó de la siguiente manera:

Estimulación: landfarming a pequeña escala más;

- M-1: Suelo natural; 100% de suelo provenientes de la zona de estudio del estrato de más capacidad de soporte.
- M-2: Suelo contaminado; 100% de suelos artificialmente contaminados con 16.67 ml/kg de hidrocarburos (petróleo) de la zona de estudio.
- M-3: Suelo contaminado más nutriente 33.33 gr/kg; 100% de sedimentos contaminados con hidrocarburos de la zona de estudio, más nutriente (Urea 500 gr.)
- M-4: Suelo contaminado más nutriente 66.67 gr/kg; 100% de sedimentos contaminados con hidrocarburos de la zona de estudio, más nutriente (Urea 1000 gr.)
- M-5: Suelo contaminado más nutriente 100.00 gr/kg; 100% de sedimentos contaminados con hidrocarburos de la zona de estudio, más nutriente (Urea 1500 gr.)

Figura 18
Estimulación por landfarming a pequeña escala



Nota. La fotografía muestra el método de degradación de contaminantes mediante el uso de la urea y el landfarming a pequeña escala como estimulante.

Para la muestra M-1; se realizó un estudio físico mecánico del suelo en la urbanización Anexo Jesús Nazareno precisamente en la manzana C lote 10, realizando una calicata convencional, el cual el estrato con mayor capacidad de soporte está ubicado a una profundidad de 1.70m por el ensayo de GEOGAUGE y corte directo, siendo este estrato un suelo arenoso SP según la clasificación SUCS; los parámetros del suelo en estudio se muestran en las siguientes tablas:

Tabla 4
Clasificación de suelo de la muestra M-1

Calicata	Profundidad (m)	Densidad		Humedad (%)	Consistencia			Granulometría (% que pasa)				I.G.	Clasificación	
		Natural (gr/cm ³)	Seca (gr/cm ³)		LL (%)	LP (%)	IP (%)	N°4	N°10	N°40	N°200		SUCS	AASHTO
C-01	1.70	1.75	1.62	7.50	NP	NP	NP	99.69	97.21	36.61	4.77	0.0	SP	A1-b (0)

Nota: en la tabla muestra el resumen de los parámetros físicos de la muestra de suelo natural en estudio.

Tabla 5

Propiedades mecánicas de suelo de la muestra M-1

Calicata	Profundidad (m)	CORTE DIRECTO		MÓDULO ELÁSTICO (Mpa)	RIGIDEZ DEL SUELO Mr (MN/m)	COEFICIENTE DE POISSON (μ)	MÓDULO DE CORTE G (Mpa)	CBR al 100%	q adm. (kg/cm ²)
		C (Kg/cm ²)	ψ						
C-01	1.70	0.09	30.48°	44.96	5.18	0.37	16.37	11.50	2.43

Nota: en la tabla muestra el resumen de las propiedades mecánicas de la muestra de suelo natural en estudio realizadas mediante ensayos de GEOGAUGE y corte directo.

A continuación, se muestra fotografías de la extracción, muestreo y ensayos en los laboratorios para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la muestra M-1:

Figura 19

Calicata C-01



Nota. La fotografía muestra el ensayo de densidad natural y contenido de humedad a una profundidad de 1.70m.

Figura 22

Ensayo de corte directo de la muestra M-1



Nota. La fotografía muestra el laboratorio y equipo de corte directo para determinar la cohesión y ángulo de fricción interna del suelo de la muestra M-1.

. Para las muestras M-2, M-3, M-4, M-5; Se tuvo control en la contaminación pesando 15000gr de suelo natural contaminándolo artificialmente con hidrocarburos (petróleo) 16.67ml/kg equivalente a 250ml. Con una probeta normalizada.

Figura 23

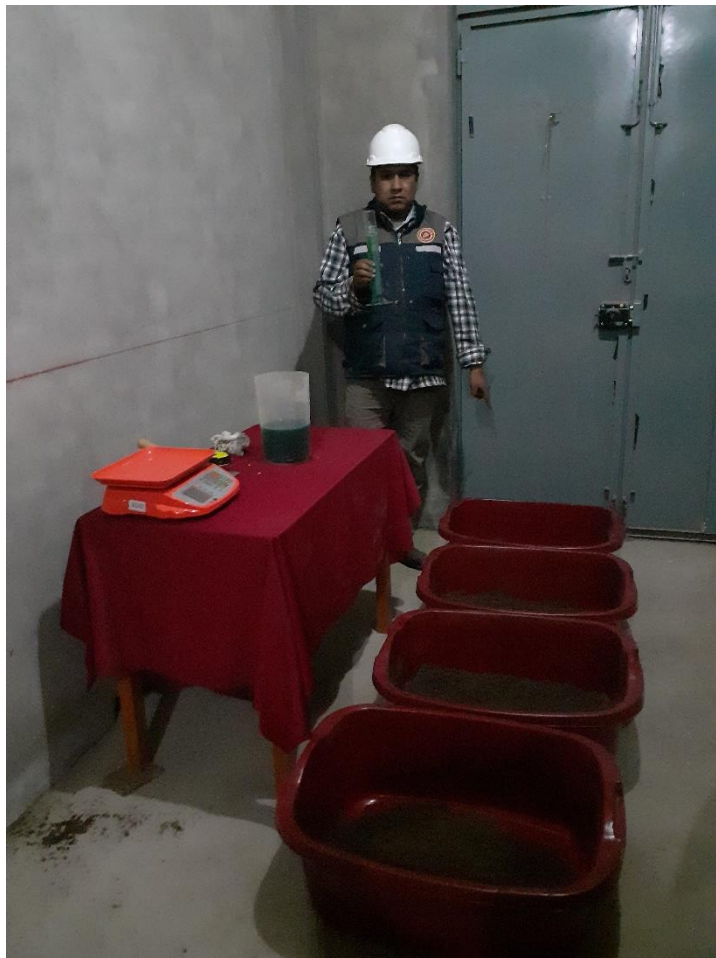
Medición del contaminante



Nota. La fotografía muestra el hidrocarburo (petróleo) en 250ml. utilizado para la contaminación del suelo.

Figura 24

Contaminación de las muestras de suelo M-2, M-3, M-4, M-5

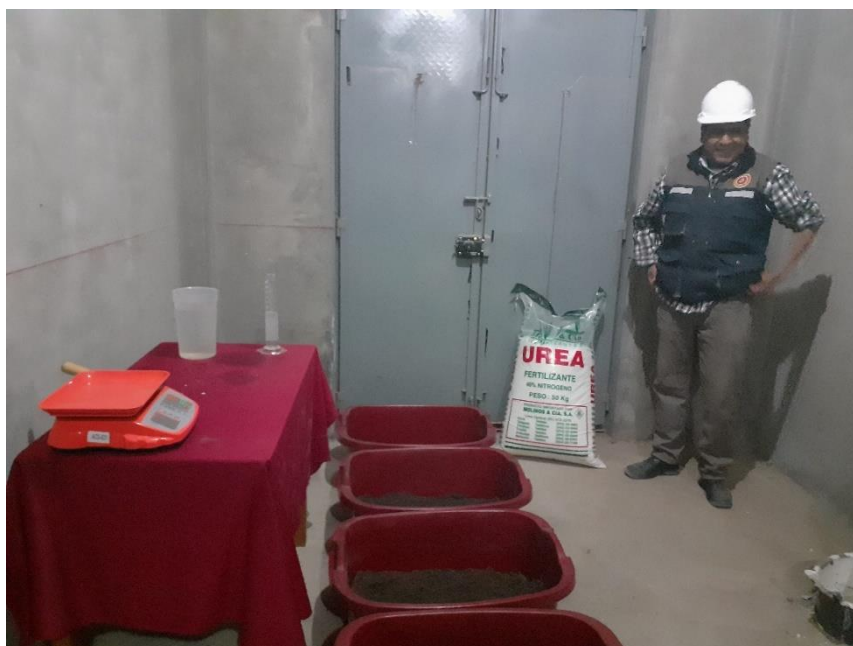


Nota. La fotografía muestra la contaminación controlada de las muestras M-2, M-3, M-4, M-5.

3.7.2 Proceso de remediación

En esta etapa del proyecto se realiza la técnica de la adición de la urea como agente químico de remediación de suelo contaminado por hidrocarburo de la siguiente manera; a la muestra M-3, M-4, M-5 se le agrega 500gr, 1000gr, y 1500gr. De urea de cultivo triturada y diluida en 1000ml de agua respectivamente.

Figura 25
Urea



Nota. La fotografía muestra la urea como agente químico de remediación a las muestras M-3, M-4, M-5.

Figura 26
Urea en 500gr, 1000gr y 1500gr.



Nota. La fotografía muestra la urea como agente químico de remediación diluida en agua en 500gr, 1000gr y 1500gr.

Figura 27

Técnica de adición de la urea en 500gr, 1000gr y 1500gr.



Nota. La fotografía muestra la urea como agente químico de remediación diluida en agua en 500gr, 1000gr y 1500gr.

Además, para estimular este efecto de la urea con el suelo contaminado se procede a mezclar uniformemente la muestra, también se realiza el proceso de landfarming a pequeña escala, aireando el suelo dos veces al día comprendidos entre las 7:00am y 7:00pm para su análisis y comportamiento durante tres meses, acomodando las celdas en un lugar estratégico donde la luz solar también fungirá un factor importante.

Figura 28*Estimulación por landfarming a pequeña escala*

Nota. La fotografía muestra el método de degradación de contaminantes mediante el uso de la urea y el landfarming a pequeña escala como estimulante.

3.7.3 Ensayos de condiciones ambientales del suelo

Para el análisis del efecto de remediación se realizó el análisis de suelo en el laboratorio de ingeniería ambiental de la Universidad Peruana Unión, llevando muestras periódicamente cada mes del estudio y así evaluar el comportamiento del suelo con la adicción de la urea y el landfarming especificado anteriormente.

Para este análisis de suelo, las muestras deben estar secas por un lapso mínimo de 12 horas y ser trituradas, pasante el tamiz N° 200. La muestra deberá ser fina debido a que los químicos a utilizar necesitan reaccionar con la muestra y así obtener datos relevantes.

Figura 29

Muestra M-1, M-2, M-3, M-4, M-5



Nota. En la fotografía se observa las muestras M-1, M-2, M-3, M-4, M-5 seca, triturada y tamizada por el tamiz N°200.

3.7.3.1 pH

El método potenciométrico para medir el pH es un enfoque común en el que se utiliza un electrodo de vidrio específico para pH para detectar el nivel de acidez o alcalinidad de una solución.

Materiales y Equipos:

1. Electrodo de Vidrio para pH: Este electrodo contiene una membrana de vidrio especial que es sensible a los iones de hidrógeno en la solución.
2. Medidor de pH Potenciométrico: Un aparato que mide la diferencia de potencial entre un electrodo de vidrio y uno de referencia, transformando esta diferencia en una lectura de pH.



3. Soluciones Patrón de pH: Soluciones conocidas con valores de pH específicos que se utilizan para calibrar el electrodo y verificar su precisión.
4. Vasos de Laboratorio: Para contener la muestra de la solución que se va a medir.

Procedimiento:

1. Calibración del Electrodo; Sumergir el electrodo en una solución de pH conocido (pH 7 es común para la calibración estándar). Ajustar el medidor de pH para que coincida con el valor de pH de la solución patrón.
2. Preparación de la Muestra; Verter la muestra de la solución que se va a medir en un vaso de laboratorio limpio.
3. Medición del pH; Insertar el electrodo de vidrio en la muestra, asegurándose de que esté completamente sumergido. Permitir que el electrodo se estabilice en la muestra durante un período breve. Leer el valor de pH directamente del medidor potenciométrico.
4. Registro de Datos, Registrar la lectura del pH para futuras referencias.
5. Limpieza del Electrodo; Luego de cada medición, enjuagar el electrodo con agua desionizada y secarlo suavemente con papel sin frotar la membrana.

Figura 30
Medidor potenciométrico



Nota. La fotografía muestra el medidor potenciométrico del laboratorio de Ingeniería ambiental de la UPeU.

Figura 31
Medición del pH



Nota. La fotografía muestra la medición de pH con el medidor potenciométrico de las diferentes muestras de suelo.



3.7.3.2 Humedad

El método termogravimétrico (TGA) por sus siglas en inglés, Thermogravimetric Analysis) s una técnica que mide cambios en la masa de una muestra al aumentar gradualmente la temperatura. Se utiliza para determinar el contenido de humedad observando la pérdida de masa debido a la evaporación del agua.

Materiales y Equipos:

1. Analizador Termogravimétrico (TGA): Un instrumento que registra los cambios de masa de la muestra en función de la temperatura.
2. Cápsula de Muestra: Un recipiente en el que se coloca la muestra para el análisis termogravimétrico.

Procedimiento:

1. Preparación de la Muestra; Secar y pesar la cápsula de muestra junto con la muestra a analizar.
2. Colocación de la Muestra en el TGA; Colocar la cápsula de muestra en la entrada del analizador termogravimétrico.
3. Calibración del TGA; Realizar una calibración inicial utilizando una muestra de referencia.
4. Inicio del Análisis; Iniciar el programa de calentamiento y registrar la temperatura y la pérdida de masa simultáneamente.
5. Monitoreo del Cambio de Masa; Observar el gráfico termogravimétrico generado, que muestra la pérdida de masa en función de la temperatura.

6. Identificación del Contenido de Humedad; Identificar el punto en el gráfico donde ocurre una pérdida de masa significativa, lo que indica la evaporación del agua..
7. Cálculo del Contenido de Humedad; Para calcular el contenido de humedad, se debe determinar la pérdida de masa en el punto en que el agua se evapora, y luego se compara esta pérdida con la masa total de la muestra.
8. Registro de Datos; Registrar la temperatura a la que ocurrió la pérdida de masa y el contenido de humedad calculado.

Figura 32*Medidor termogravimétrico*

Nota. La fotografía muestra el medidor termogravimétrico del laboratorio de Ingeniería ambiental de la UPeU.

3.7.3.3 Conductividad eléctrica

El método conductimétrico se emplea para medir la conductividad eléctrica de una solución, la cual está vinculada con su capacidad para



transportar iones. Esta medición puede usarse para estimar la concentración de iones disueltos en la solución.

Materiales y Equipos:

1. Celda de Conductividad; Dos electrodos (generalmente de platino) que están sumergidos en la solución.
2. Conductímetro; Un dispositivo que mide la conductividad eléctrica de la solución.

Procedimiento:

1. Calibración del Conductímetro; Calibrar el conductímetro utilizando soluciones estándar de conductividad conocida. Estas soluciones suelen tener valores de conductividad eléctrica bien establecidos.
2. Preparación de la Muestra; Asegurarse de que la muestra esté libre de burbujas de aire y otras impurezas que podrían afectar las mediciones. por lo que es recomendable pasarla la muestra por una bomba de vacíos.
3. Inmersión de Electrodo; Sumergir los electrodos de la celda de conductividad en la muestra.
4. Medición de Conductividad; Registrar la lectura del conductímetro después de que la lectura se haya estabilizado. Esto indica la conductividad eléctrica de la solución.
5. Registro de Datos; Registrar la lectura del conductímetro y la temperatura de la solución, ya que la conductividad eléctrica puede variar con la temperatura.

Figura 33
Colocación de muestra en la bomba de vacío



Nota. La fotografía muestra la bomba de vacío para extraer burbujas de aire de las muestras.

Fotografía 34
Bomba de vacío



Nota. La fotografía muestra la bomba de vacío para extraer burbujas de aire de las muestras.

Figura 35
Conductímetro



Nota. La fotografía muestra la medición de conductividad eléctrica por el conductímetro.

3.7.3.4 Nitrógeno

El método utilizado es por colorimetría a través del kit LaMotte. Para el nitrógeno se medirá en forma de nitrato.

Fotografía 36
Kit LaMotte



Nota. Las fotografías muestran el kit LaMotte el cual mide concentraciones de nutrientes de forma rápida por colorimetría.

Procedimiento:

1. Utilice una pipeta de 1 ml. Código (0354) para transferir 1 ml del extracto general de suelo a una de las depresiones más grandes de la placa de inspección (0159)
2. Añadir 10 gotas del "Reactivo de nitrato N°1" (5146).
3. Utilice una cuchara de 0.5 gr (0698) para agregar una medida de "Reactivo en polvo de Nitrato N° 2" (5147)
4. Mezcle bien con una varilla limpia (0519); Dejar reposar cinco minutos para el desarrollo a todo color.
5. Compare el color de la muestra con la carta de color para Nitrógeno en forma de nitrato (1315)

Fotografía 37

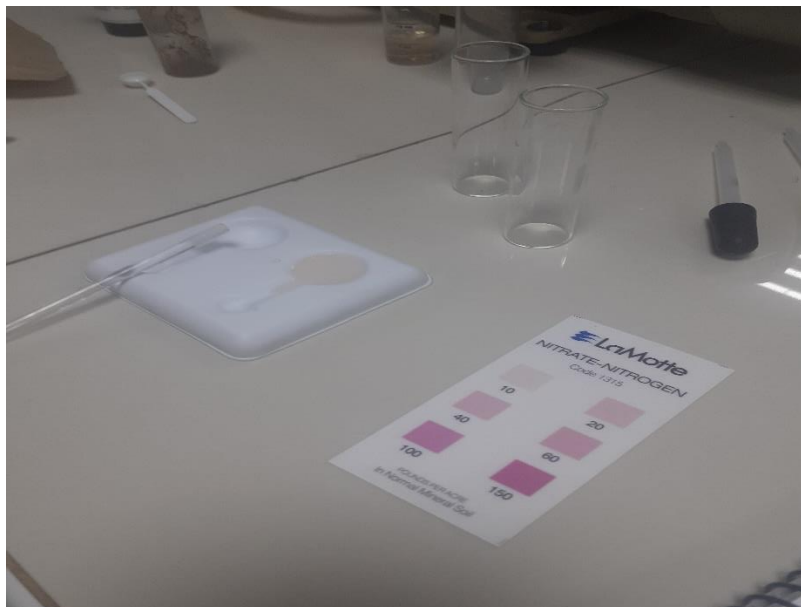
Procedimiento de ensayo de nitrógeno en forma de nitrato



Nota. La fotografía muestra el proceso de medición de nitrógeno por colorimetría.

Fotografía 38

Nitrógeno en forma de nitrato



Nota. La fotografía muestra el proceso de medición de nitrógeno por colorimetría.

3.7.3.5 Fósforo

La prueba de fósforo es extremadamente sensible precauciones especiales deben adoptarse para evitar la contaminación. En particular, la exposición a los componentes de la prueba al polvo de fertilizantes debe ser escrupulosamente evitada, La superficie de trabajo, zona de pruebas, manos y ropa del operador, deben estar limpias y libres de residuos de fertilizantes.

Procedimiento:

1. Utilice una pipeta de transferencia (0364) para llenar un tubo "Fósforo B" (0244) hasta la línea más baja con el extracto general de suelo.
2. Añadir 6 gotas del "Reactivo de Fósforo" (5706A) Tape y agite para mezclar.
3. Agregue una "Tableta de Prueba de Fósforo" (5706A). Tape y agite hasta que se disuelva.

4. Comparar de inmediato el color que se forma en el tubo con la carta de color para fósforo (1312). Sostener el tubo a unos 2.5 cm de distancia de la superficie blanca en el centro de la carta de colores. Observar la carta y la muestra bajo luz natural para una comparación de color precisa.

Fotografía 39

Medición del fósforo en suelos



Nota. La fotografía muestra el proceso de medición de fósforo por colorimetría.

3.7.3.6 Potasio

Es crucial que la temperatura del extracto de suelo y del "Reactivo Potasio C" (5162) esté entre 20 y 27 °C. En días calurosos, antes de proceder al paso 3, se debe enfriar la muestra en el tubo Potash "A" y el recipiente del "Reactivo Potasio C" (5162), sumergiéndolos en agua fría.

Procedimiento:

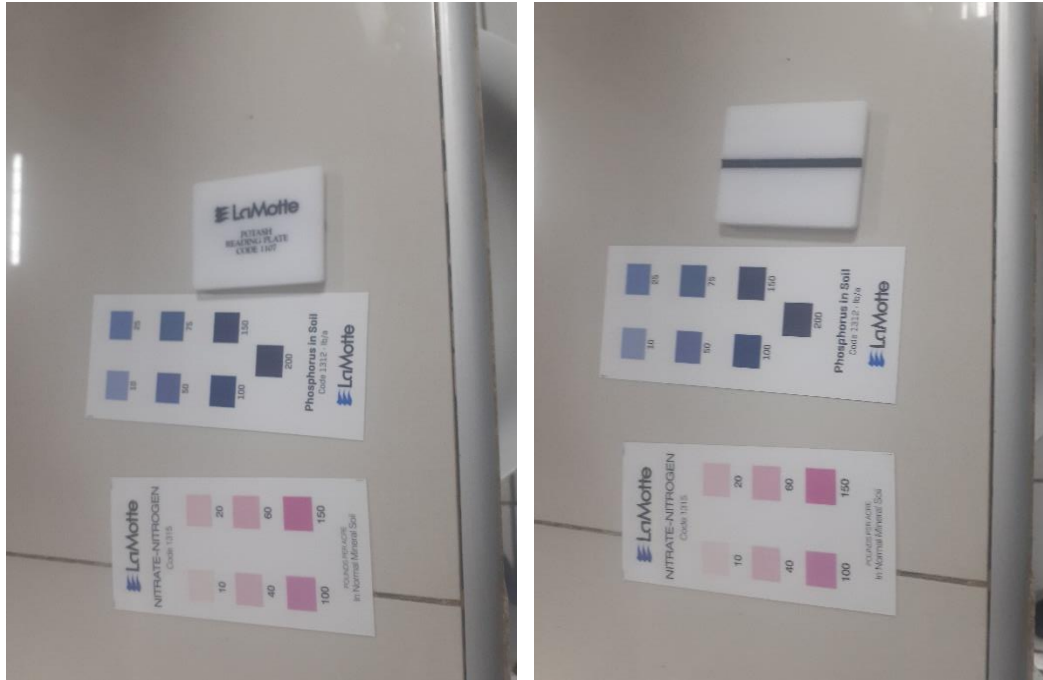
1. Utilice una pipeta de transferencia (0364) para llenar un tubo "Potash A" (0245) hasta la línea inferior con el extracto general de suelo.



2. Agregue una tableta del "Reactivo Potasio B" (5161A). Tape y agite hasta que se disuelva.
3. Agregue "Reactivo Potasio C" (5162) hasta que el tubo "Potash A" este lleno hasta la línea superior. Deje que el "Reactivo Potasio C" (5162) descienda lentamente por un lado del tubo. Agite el tubo para mezclar; Se formará un precipitado si el potasio está presente.
4. Coloque un tubo vacío "Potash B" (0246) en la "Placa de lectura de potasio" (1107), una pieza rectangular de plexiglás blanco con un alineamiento de línea negra por la mitad. Se coloca el tubo directamente sobre la línea negra.
5. Llene una pipeta de transferencia (0364) con la muestra de prueba desde el tubo "Potash A".
6. Agregue lentamente la muestra al tubo "Potash B", esto permite que la muestra descienda por un lado del tubo. Observe la línea negra a través del tubo "Potash B", continúe añadiendo la muestra hasta que la línea negra desaparezca.
7. Registre el valor en el que el nivel del líquido se encuentra con la escala impresa a un lado del tubo "Potash B".
8. Si el resultado de la prueba es mayor a 400:
 - a. Llene el tubo "Potash C" (0247) hasta la marca inferior con el extracto general de suelo.
 - b. Añadir la "Solución Universal de extracción" (5173) y mezclar.
 - c. Usando este extracto diluido siga los pasos 1 a 7 anteriores, multiplique el resultado de la prueba por dos, para obtener el potasio presente.

Fotografía 40

Placa de lectura de Potasio



Nota. La fotografía muestra la placa de lectura de potasio y la cartilla de medición fósforo y nitrógeno.

Fotografía 41

Medición del potasio en suelos



Nota. La fotografía muestra el proceso de medición de potasio, con placa de lectura de potasio.



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. PRESENTACIÓN E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Se busca minimizar la influencia del investigador en la recopilación y análisis de datos. En este contexto, se utilizó la muestra de mayor capacidad de soporte y se implementan instrumentos de medición, como ensayos y otros métodos estandarizados, para garantizar una recopilación de datos eficiente.

Estos instrumentos, permiten obtener información de manera consistente, contribuyendo así a la confiabilidad y validez de los resultados. Al utilizar herramientas estandarizadas, se establece una base sólida para comparaciones entre diferentes estudios, fortaleciendo la investigación y facilitando la interpretación imparcial de los datos recolectados.

Este enfoque metodológico contribuye a la calidad y credibilidad de la investigación al reducir la subjetividad inherente a la intervención directa del investigador en la recopilación de datos.

Fotografía 42

Recolección de parámetros de suelo



Nota. La fotografía muestra la recolección de datos consistente a los parámetros de suelo en el laboratorio de ingeniería ambiental.

A continuación, se muestran los resultados de análisis de suelo tomados en tres meses diferentes denominados muestreo N° 1, 2 y 3 determinados en el laboratorio de Ingeniería ambiental de la Universidad Peruana Unión, realizando análisis de suelo mediante la metodología explicada en el capítulo anterior, como la presencia y cantidad de diversos elementos químicos. Estos elementos pueden abarcar desde macronutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio, como también el pH y conductividad eléctrica del suelo muy importantes para el crecimiento de plantas.

Tabla 6
Análisis de suelo de muestreo N° 1

MUESTRAS	PARÁMETRO					
	pH	Humedad (%)	Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Nitrógeno (lb/acre)	Fósforo (lb/acre)	Potasio (lb/acre)
M-1; Suelo o sedimento	7,50	2,02	39,70	50,00	120,00	140,00
M-2: Suelo contaminado con hidrocarburo 16.67ml/kg (petróleo)	6,88	1,22	68,90	30,00	130,00	140,00
M-3: Suelo contaminado + nutriente 500gr.	7,20	1,10	90,20	70,00	132,00	140,00
M-4: Suelo contaminado + nutriente 1000gr.	7,23	1,04	83,40	50,00	140,00	100,00
M-5: Suelo contaminado + nutriente 1500gr.	7,10	0,74	26,10	22,00	150,00	70,00

Nota: en la tabla muestra los parámetros químicos de suelo en estudio, muestra tomada en el mes diciembre de 2022.

Tabla 7
Análisis de suelo de muestreo N° 2

MUESTRAS	PARÁMETRO					
	pH	Humedad (%)	Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Nitrógeno (lb/acre)	Fósforo (lb/acre)	Potasio (lb/acre)
M-1; Suelo o sedimento	9,16	2,19	168,20	15,00	100,00	100,00
M-2: Suelo contaminado con hidrocarburo 16.67ml/kg (petróleo)	9,07	1,43	218,40	25,00	125,00	100,00
M-3: Suelo contaminado + nutriente 500gr.	8,17	1,25	189,70	40,00	125,00	120,00
M-4: Suelo contaminado + nutriente 1000gr.	8,11	1,16	186,50	40,00	150,00	100,00
M-5: Suelo contaminado + nutriente 1500gr.	8,07	0,99	125,80	60,00	150,00	75,00

Nota: en la tabla muestra los parámetros químicos de suelo en estudio, muestra tomada en el mes enero de 2023.

Tabla 8
Análisis de suelo de muestreo N° 3

MUESTRAS	PARÁMETRO					
	pH	Humedad (%)	Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Nitrógeno (lb/acre)	Fósforo (lb/acre)	Potasio (lb/acre)
M-1; Suelo o sedimento	8,01	2,38	348,00	20,00	125,00	110,00
M-2: Suelo contaminado con hidrocarburo 16.67ml/kg (petróleo)	8,43	1,54	143,80	30,00	125,00	125,00
M-3: Suelo contaminado + nutriente 500gr.	8,54	1,36	500,00	45,00	135,00	125,00
M-4: Suelo contaminado + nutriente 1000gr.	8,18	1,24	372,00	50,00	150,00	110,00
M-5: Suelo contaminado + nutriente 1500gr.	7,94	1,15	233,00	70,00	200,00	80,00

Nota: en la tabla muestra los parámetros químicos de suelo en estudio, muestra tomada en el mes febrero de 2023.

4.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS

La urea proporciona nitrógeno, que es esencial para el crecimiento de microorganismos. Aumentar la cantidad de nitrógeno en el suelo puede favorecer el crecimiento de bacterias y otros microorganismos que ayudan a degradar los hidrocarburos.

El landfarming es un proceso que incluye la aireación para incrementar el suministro de oxígeno, necesario para el desarrollo de microorganismos del suelo.

De los datos recopilados en laboratorio estos deben ser procesados a unidades conocidas para una mejor interpretación de los mismos como el nitrógeno, fósforo y potasio que están en libras por acre en kilogramos por hectárea siendo esta conversión la siguiente:

Tabla 9
Análisis de suelo de muestreo N° 1

MUESTRAS	PARÁMETRO					
	pH	Humedad (%)	Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Nitrógeno (kg/ha)	Fósforo (kg/ha)	Potasio (kg/ha)
M-1; Suelo o sedimento	7,50	2,02	39,70	56.04	134.51	156.92
M-2: Suelo contaminado con hidrocarburo 16.67ml/kg (petróleo)	6,88	1,22	68,90	33.63	145.72	156.92
M-3: Suelo contaminado + nutriente 500gr.	7,20	1,10	90,20	78.46	147.96	156.92
M-4: Suelo contaminado + nutriente 1000gr.	7,23	1,04	83,40	56.04	156.92	112.09
M-5: Suelo contaminado + nutriente 1500gr.	7,10	0,74	26,10	24.66	168.13	78.46

Nota: en la tabla muestra los parámetros químicos de suelo en estudio, muestra tomada en el mes diciembre de 2022.

Tabla 10
Análisis de suelo de muestreo N° 2

MUESTRAS	PARÁMETRO					
	pH	Humedad (%)	Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Nitrógeno (kg/ha)	Fósforo (kg/ha)	Potasio (kg/ha)
M-1; Suelo o sedimento	9,16	2,19	168,20	16.81	112.09	112.09
M-2: Suelo contaminado con hidrocarburo 16.67ml/kg (petróleo)	9,07	1,43	218,40	28.02	140.11	112.09
M-3: Suelo contaminado + nutriente 500gr.	8,17	1,25	189,70	44.84	140.11	134.51
M-4: Suelo contaminado + nutriente 1000gr.	8,11	1,16	186,50	44.84	168.13	112.09
M-5: Suelo contaminado + nutriente 1500gr.	8,07	0,99	125,80	67.25	168.13	84.07

Nota: en la tabla muestra los parámetros químicos de suelo en estudio, muestra tomada en el mes enero de 2023.

Tabla 11
Análisis de suelo de muestreo N° 3

MUESTRAS	PARÁMETRO					
	pH	Humedad (%)	Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Nitrógeno (kg/ha)	Fósforo (kg/ha)	Potasio (kg/ha)
M-1; Suelo o sedimento	8,01	2,38	348,00	22.42	140.11	123.30
M-2: Suelo contaminado con hidrocarburo 16.67ml/kg (petróleo)	8,43	1,54	143,80	33.63	140.11	140.11
M-3: Suelo contaminado + nutriente 500gr.	8,54	1,36	500,00	50.44	151.32	140.11
M-4: Suelo contaminado + nutriente 1000gr.	8,18	1,24	372,00	56.04	168.13	123.30
M-5: Suelo contaminado + nutriente 1500gr.	7,94	1,15	233,00	78.46	224.18	89.67

Nota: en la tabla muestra los parámetros químicos de suelo en estudio, muestra tomada en el mes febrero de 2023.

Los datos recopilados en investigaciones cuantitativas son, en su mayoría, numéricos y se expresan en términos de cantidades y medidas. Esto permite un análisis estadístico para inferir patrones, relaciones y tendencias:

Tabla 12
Estadísticos descriptivos

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Estándar
Tratamiento de muestras	15	1,00	5,00	3,0000	1,46385
pH	15	6,88	9,16	7,9660	,69400
Humedad	15	0,74	2,38	1,3873	,46387
Conductividad eléctrica	15	26,10	500,00	186,2467	133,31435
Nitrógeno	15	16,81	78,46	46,1053	19,59645
Fósforo	15	112,09	224,18	153,7107	25,00199
Potasio	15	78,46	156,92	122,1767	25,69888
N válido (por lista)	15				

Nota: en la tabla muestra los estadísticos descriptivos que permitirán el análisis de las muestras.

Tabla 13

Análisis descriptivos (95% del intervalo de confianza para la media)

		N	Media	Desv. Estándar	Desv. Error	Límite inferior	Límite superior	Mínimo	Máximo
pH	M-1	3	8,2233	,85031	,49093	6,1110	10,3356	7,50	9,16
	M-2	3	8,1267	1,12607	,65014	5,3294	10,9240	6,88	9,07
	M-3	3	7,9700	,69203	,39954	6,2509	9,6891	7,20	8,54
	M-4	3	7,8067	,58705	,33894	6,3483	9,2650	7,13	8,18
	M-5	3	7,7033	,52653	,30399	6,3954	9,0113	7,10	8,07
	Total	15	7,9660	,69400	,17919	7,5817	8,3503	6,88	9,16
Humedad	M-1	3	2,1967	,18009	,10398	1,7493	2,6440	2,02	2,38
	M-2	3	1,3967	,16258	,09387	,9928	1,8005	1,22	1,54
	M-3	3	1,2367	,13051	,07535	,9125	1,5609	1,10	1,36
	M-4	3	1,1467	,10066	,05812	,8966	1,3967	1,04	1,24
	M-5	3	,9600	,20664	,11930	,4467	1,4733	0,74	1,15
	Total	15	1,3873	,46387	,11977	1,1304	1,6442	0,74	2,38
Conductividad eléctrica	M-1	3	185,3000	154,85971	89,40830	-199,3928	569,9928	39,70	348,00
	M-2	3	143,7000	74,75005	43,15696	-41,9894	329,3894	68,90	218,40
	M-3	3	259,9667	213,74532	123,40592	-271,0062	790,9395	90,20	500,00
	M-4	3	213,9667	146,24740	84,43598	-149,3320	577,2654	83,40	372,00
	M-5	3	128,3000	103,47265	59,73996	-128,7403	385,3403	26,10	233,00
	Total	15	186,2467	133,31435	34,42162	112,4196	260,0737	26,10	500,00
Nitrógeno	M-1	3	31,7567	21,21623	12,24919	-20,9474	84,4607	16,81	56,04
	M-2	3	31,7600	3,23894	1,87000	23,7140	39,8060	28,02	33,63
	M-3	3	57,9133	18,01289	10,39975	13,1668	102,6598	44,84	78,46
	M-4	3	52,3067	6,46632	3,73333	36,2434	68,3699	44,84	56,04
	M-5	3	56,7900	28,38430	16,38769	-13,7205	127,3005	24,66	78,46
	Total	15	46,1053	19,59645	5,05978	35,2532	56,9575	16,81	78,46
Fósforo	M-1	3	128,9033	14,82755	8,56069	92,0697	165,7370	112,09	140,11
	M-2	3	141,9800	3,23894	1,87000	133,9340	150,0260	140,11	145,72
	M-3	3	146,4633	5,75292	3,32145	132,1723	160,7544	140,11	151,32
	M-4	3	164,3933	6,47210	3,73667	148,3158	180,4709	156,92	168,13
	M-5	3	186,8133	32,36048	18,68333	106,4254	267,2012	168,13	224,18
	Total	15	153,7107	25,00199	6,45548	139,8650	167,5563	112,09	224,18
Potasio	M-1	3	130,7700	23,32987	13,46951	72,8154	188,7246	112,09	156,92
	M-2	3	136,3733	22,64739	13,07548	80,1141	192,6326	112,09	156,92
	M-3	3	143,8467	11,66293	6,73360	114,8743	172,8190	134,51	156,92
	M-4	3	115,8267	6,47210	3,73667	99,7491	131,9042	112,09	123,30
	M-5	3	84,0667	5,60500	3,23605	70,1431	97,9903	78,46	89,67
	Total	15	122,1767	25,69888	6,63542	107,9451	136,4082	78,46	156,92

Nota: en la tabla muestra el análisis descriptivo de las muestras en estudio.

Con las tablas 12 y 13 se procede a realizar el análisis de varianza, conocido comúnmente como ANOVA (por sus siglas en inglés, Analysis of Variance), para determinar si hay alguna diferencia significativa entre las medias de los grupos.

Existen varios tipos de ANOVA, y la elección del tipo adecuado depende de la naturaleza del diseño experimental. En este caso se utilizará el ANOVA de un factor (One-Way ANOVA), debido a que se comparará las medias de tres o más grupos en una única variable independiente:

Tabla 14
Análisis de varianza (ANOVA)

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
pH	Entre grupos	,559	4	,140	,226	,918
	Dentro de grupos	6,184	10	,618		
	Total	6,743	14			
Humedad	Entre grupos	2,755	4	,689	26,751	,000
	Dentro de grupos	,257	10	,026		
	Total	3,012	14			
Conductividad eléctrica	Entre grupos	34115,904	4	8528,976	,397	,806
	Dentro de grupos	214702,113	10	21470,211		
	Total	248818,017	14			
Nitrógeno	Entre grupos	2111,161	4	527,790	1,616	,245
	Dentro de grupos	3265,130	10	326,513		
	Total	5376,291	14			
Fósforo	Entre grupos	6046,326	4	1511,582	5,588	,013
	Dentro de grupos	2705,063	10	270,506		
	Total	8751,390	14			
Potasio	Entre grupos	6713,023	4	1678,256	6,625	,007
	Dentro de grupos	2533,030	10	253,303		
	Total	9246,053	14			

Nota: en la tabla muestra el análisis ANOVA de las diferentes muestras independientes.

Para estimar las diferencias entre dos componentes de variabilidad, se calcula el estadístico F, que es la razón de variación entre la variación de intergrupos y la variación intragrupos.

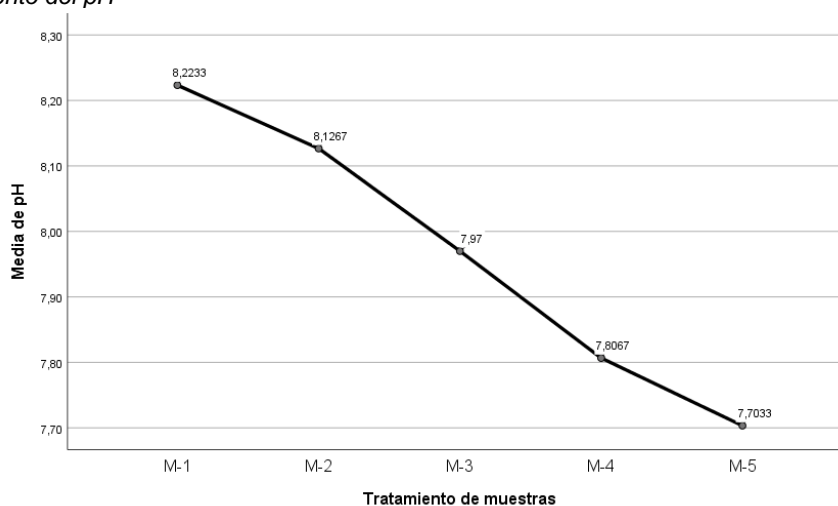
Si F es un numero grande, la variabilidad entre medias de las muestras es mayor que la esperada a la variabilidad dentro de las muestras, y rechazamos H_0

Si $P < 0.05$ rechazamos H_0 que indica que las medias comparadas son iguales. Es decir, si existe diferencia estadísticamente significativa entre las medias.

Del análisis podemos observar que el P valor o significancia superan el 0.05 en el pH, conductividad eléctrica y nitrógeno por lo que indica que estos datos son homogéneos y con lo que respecta a la humedad, fósforo y potasio son muy variados unos de otros.

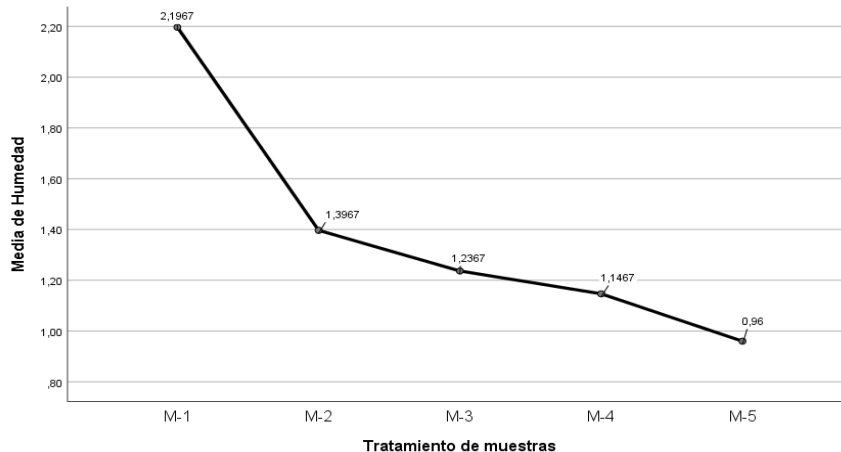
En seguida mostramos los gráficos de medias de las muestras las muestras M-1. M-2, M-3, M-4 y M-5:

Figura 43
Comportamiento del pH



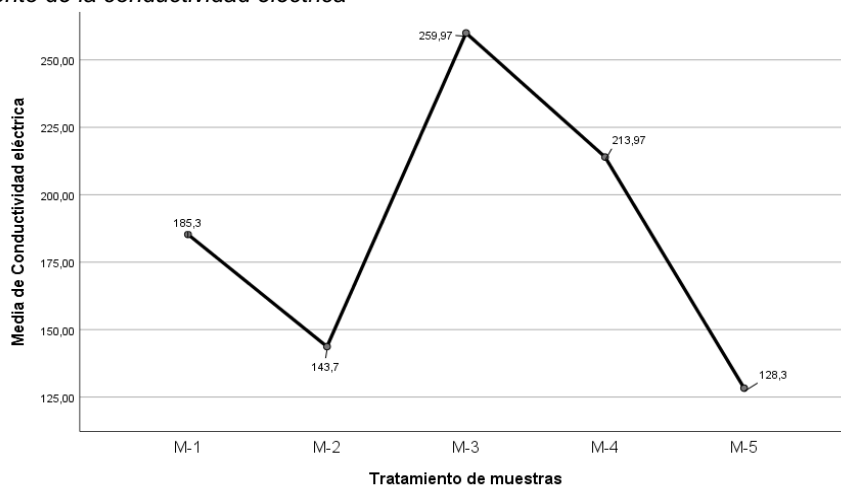
Nota. La figura muestra la reducción del pH promedio en relación al tratamiento realizado.

Figura 44
Comportamiento de la humedad



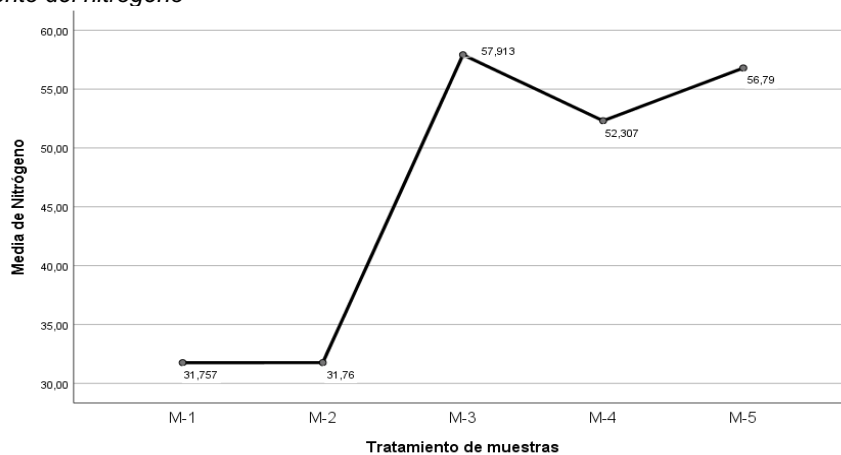
Nota. La figura muestra la reducción de la humedad promedio en relación al tratamiento realizado.

Figura 45
Comportamiento de la conductividad eléctrica



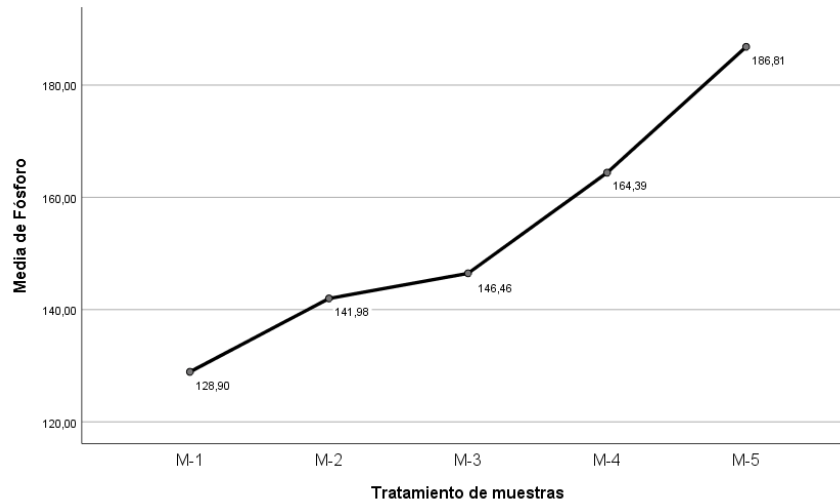
Nota. La figura muestra la conductividad eléctrica promedio en relación al tratamiento realizado.

Figura 46
Comportamiento del nitrógeno



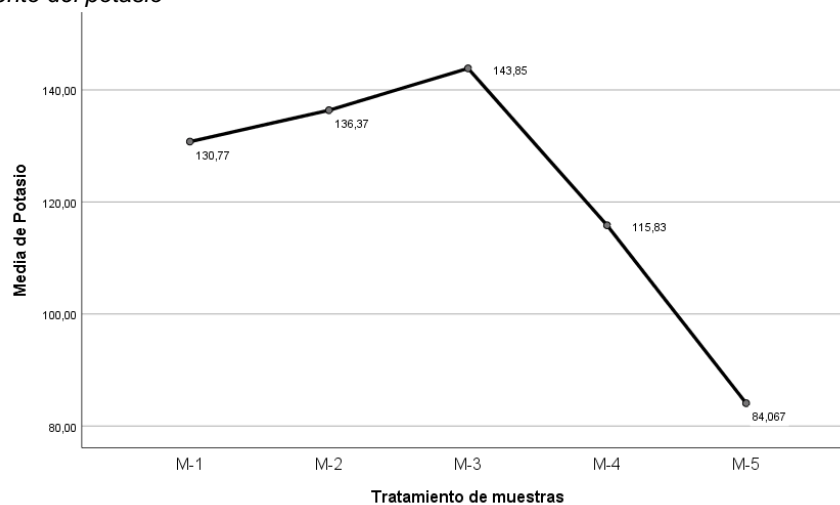
Nota. La figura muestra el comportamiento de nitrógeno en relación al tratamiento realizado.

Figura 47
Comportamiento del fósforo



Nota. La figura muestra el incremento del fósforo promedio en relación al tratamiento realizado.

Figura 48
Comportamiento del potasio



Nota. La figura muestra el comportamiento del potasio promedio en relación al tratamiento realizado.

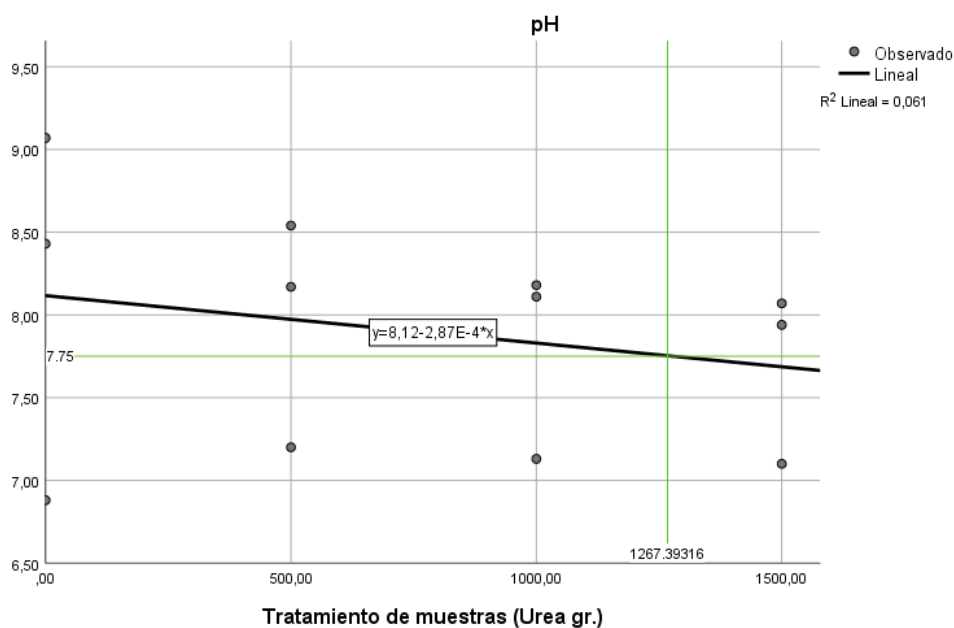
Para obtener la proporción óptima de nutrientes en la remediación de suelos contaminados, procedemos a realizar una regresión lineal de los datos del pH, conductividad eléctrica y nitrógeno al ser estos homogéneos. para establecer el tratamiento que se asemeja a las propiedades de origen del suelo y así determinar la cantidad de nutriente a utilizar para un tratamiento óptimo.

Tabla 15
Resumen de modelo de estimaciones de regresión

Variable dependiente	Ecuación	Resumen del modelo					Estimaciones de parámetro		
		R cuadrado	F	gl1	gl2	Sig.	Constante	X	X ²
pH	Lineal	,061	,650	1	10	,439	8,117	-2,87E-4	
Humedad	Lineal	,598	14,901	1	10	,003	1,395	-2,8E-4	
Conductividad eléctrica	Cuadrático	,159	,848	2	9	,460	149,830	0,284	-2,02E-4
Nitrógeno	Cuadrático	,291	1,843	2	9	,213	33,853	0,046	-2,167E-5
Fósforo	Lineal	,580	13,838	1	10	,004	137,048	0,030	
Potasio	Cuadrático	,798	17,724	2	9	,001	137,961	0,022	-3,923E-5

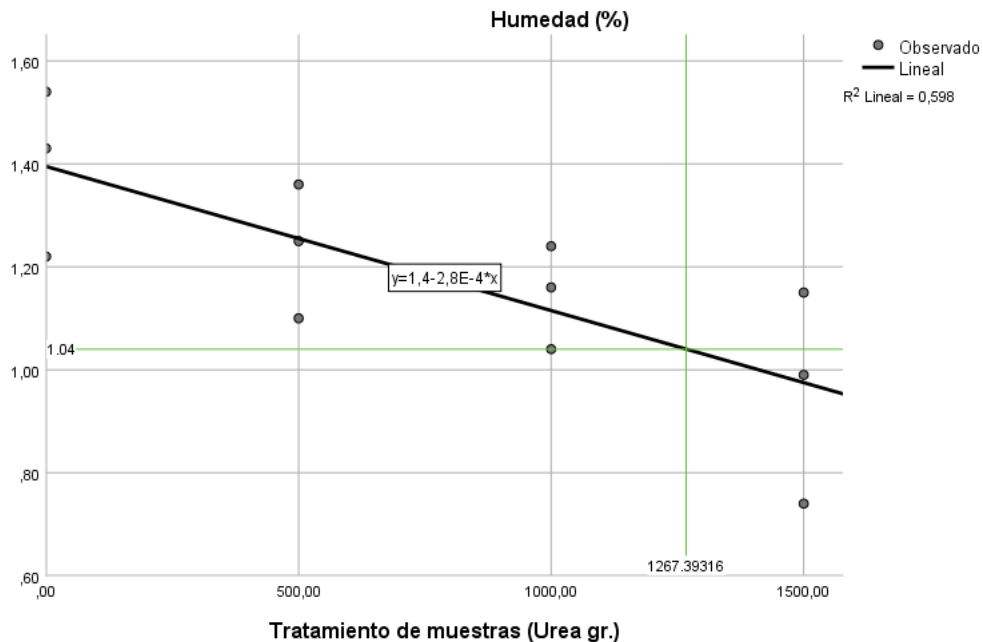
Nota: en la tabla muestra las estimaciones de los parámetros de ecuación siendo la variable independiente el tratamiento de las muestras M-2, M-3, M-4 y M-5.

Figura 49
Regresión lineal del pH



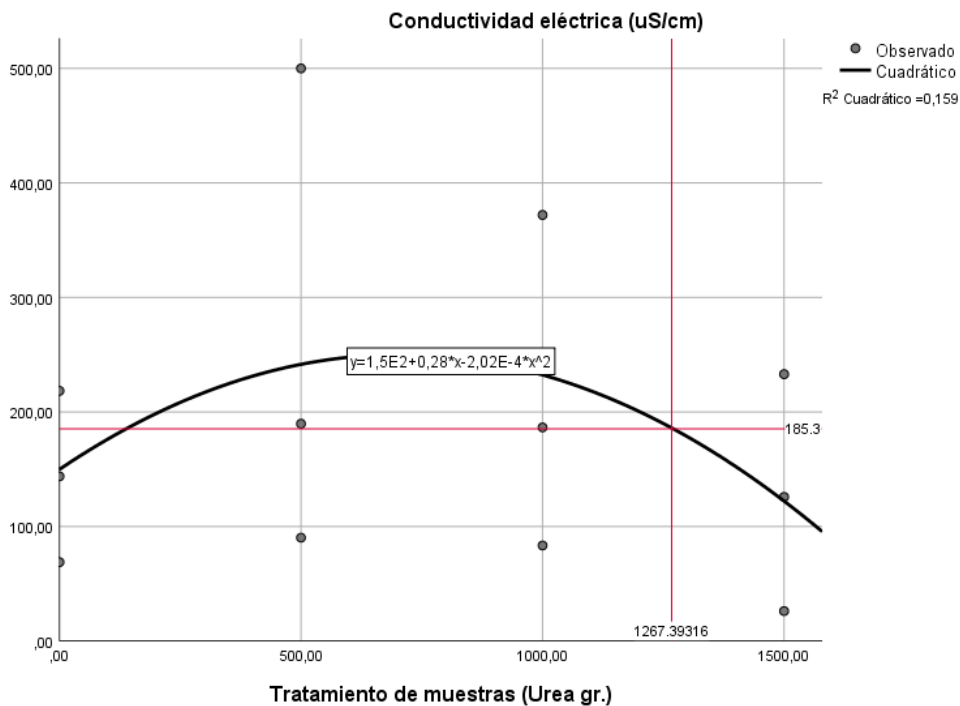
Nota. La figura muestra la ecuación y la regresión lineal de pH.

Figura 50
Regresión lineal de la humedad



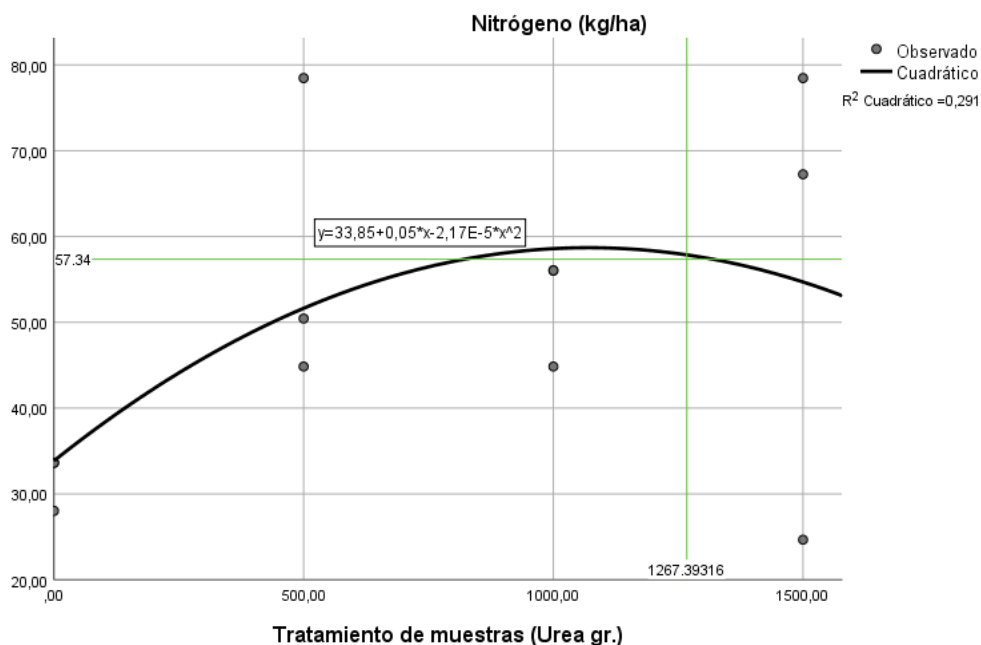
Nota. La figura muestra la ecuación y la regresión lineal de la humedad.

Figura 51
Regresión cuadrática de la conductividad eléctrica



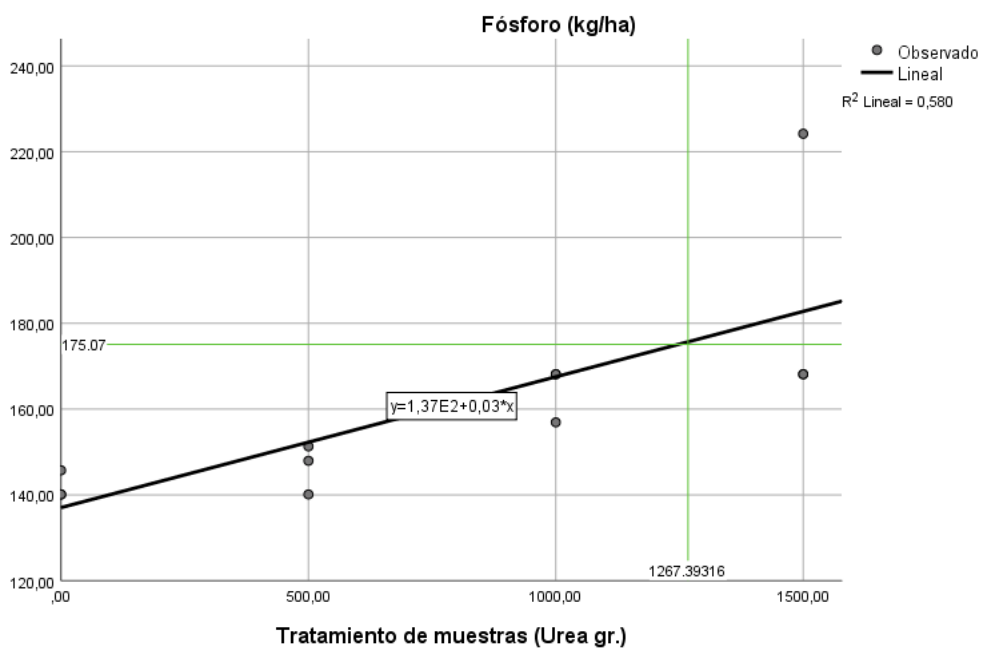
Nota. La figura muestra la ecuación y la regresión cuadrática de la conductividad eléctrica.

Figura 52
Regresión cuadrática del nitrógeno



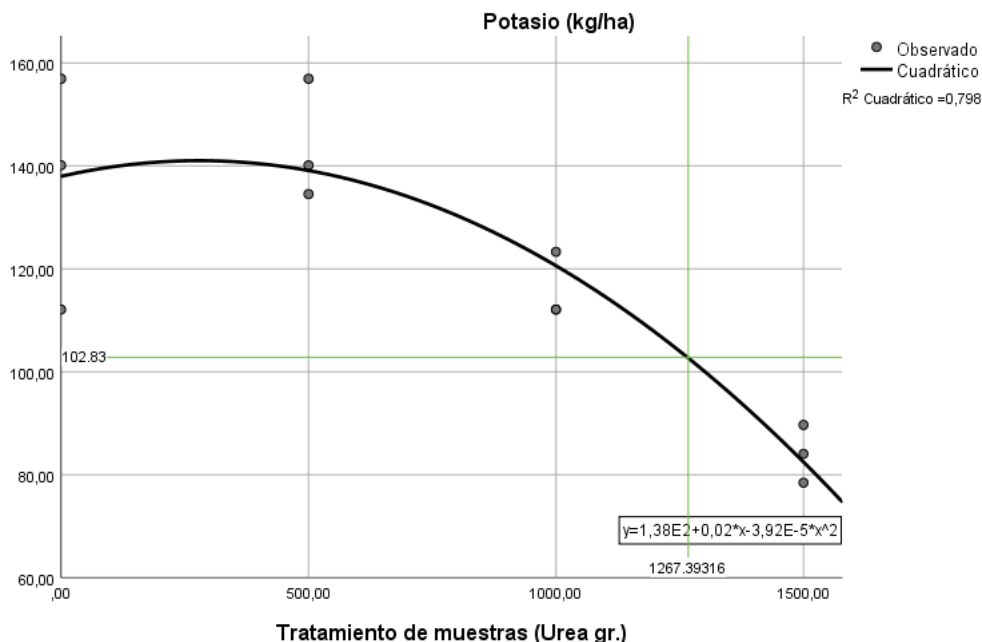
Nota. La figura muestra la ecuación y la regresión cuadrática del nitrógeno.

Figura 53
Regresión lineal del fósforo



Nota. La figura muestra la ecuación y la regresión lineal del fósforo.

Figura 54
Regresión cuadrática del potasio



Nota. La figura muestra la ecuación y la regresión cuadrática del potasio.

De los gráficos anteriores el que se correlaciona viene a ser el de conductividad eléctrica no se toma el pH puesto que hubo una regresión negativa y en el caso del nitrógeno una tendencia positiva, tomando los siguientes valores a través de la conductividad eléctrica siendo el tratamiento óptimo de 1267.39gr. recalcando que en relación a la humedad, fósforo y potasio se obtendrán valores variados según la naturaleza del estudio. Siendo los parámetros como sigue:

Tabla 16
Parámetros del suelo de la proporción óptima de nutriente

Proporción de nutriente (Urea en gramos)	PARÁMETRO					
	pH	Humedad (%)	Conductividad eléctrica (μS/cm)	Nitrógeno (kg/ha)	Fósforo (kg/ha)	Potasio (kg/ha)
1267,39	7,75	1,04	185,30	57,34	175,07	102,83

Nota: en la tabla se muestra los parámetros del suelo de la proporción óptima de nutriente y landfarming en la remediación de suelos contaminados por hidrocarburos.

De la tabla N°16 comparamos los parámetros con el suelo contaminado teniendo pH 8.13, humedad 1.39%, conductividad eléctrica 143.70 $\mu\text{S}/\text{cm}$, nitrógeno 31.76 kg/ha, fósforo 141.98 kg/ha, potasio 136.37 kg/ha. Observando un descenso en el pH de 0.38, la humedad en 0.55%, el potasio en 33.54 kg/ha y un aumento de conductividad eléctrica de 41.60 $\mu\text{S}/\text{cm}$, nitrógeno 25.58 kg/ha y fosforo de 33.09 kg/ha

4.3. PRUEBA DE HIPÓTESIS

Para la prueba de hipótesis se utilizan herramientas estadísticas para analizar los datos y realizar inferencias sobre la población a partir de la muestra. Esto puede incluir pruebas de hipótesis, análisis de regresión, y otros métodos cuantitativos a través del software SPSS.v26.

4.3.1. Prueba de hipótesis general

Para las pruebas de hipótesis general se realiza un ANOVA para ver las comparaciones entre todas las condiciones posibles de pares de grupos, estableciendo lo siguiente:

Hipótesis

- H_0 : Las medias de los datos son iguales
- H_a : al menos una de las medias es diferente

Regla de decisión

- $P < 0.05$ rechazamos la H_0 y aceptamos la H_a
- $P \geq 0.05$ acepta H_0 y rechazamos la H_a

Tabla 17
Análisis de varianza

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
pH	Entre grupos	,559	4	,140	,226	,918
	Dentro de grupos	6,184	10	,618		
	Total	6,743	14			
Humedad	Entre grupos	2,755	4	,689	26,751	,000
	Dentro de grupos	,257	10	,026		
	Total	3,012	14			
Conductividad eléctrica	Entre grupos	34115,904	4	8528,976	,397	,806
	Dentro de grupos	214702,113	10	21470,211		
	Total	248818,017	14			
Nitrógeno	Entre grupos	2111,161	4	527,790	1,616	,245
	Dentro de grupos	3265,130	10	326,513		
	Total	5376,291	14			
Fósforo	Entre grupos	6046,326	4	1511,582	5,588	,013
	Dentro de grupos	2705,063	10	270,506		
	Total	8751,390	14			
Potasio	Entre grupos	6713,023	4	1678,256	6,625	,007
	Dentro de grupos	2533,030	10	253,303		
	Total	9246,053	14			

Nota: en la tabla muestra el análisis ANOVA de las diferentes muestras independientes, la diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

Conclusión ANOVA

Como el nivel de significancia es $P > 0.05$ Se acepta la hipótesis nula H_0 y se rechaza la hipótesis alternativa H_a , se concluye que, para pH, Conductividad eléctrica y nitrógeno existen datos homogéneos entre grupos de variables en estos tres parámetros.

Se acepta la hipótesis general, la técnica de la adición de la urea es eficaz en la remediación de suelos contaminados por hidrocarburos en la ciudad de Juliaca.

La bioestimulación con nutrientes N y P, humedad y aireación de microorganismos en proporciones de 1:1,5 aumenta la descomposición de hidrocarburos (Rivera Ortiz et al., 2018) el papel de la Urea en la remediación de suelos contaminados puede estimular actividad microbiana, lo cual es crucial para la descomposición de hidrocarburos. Basándonos en los resultados se recomienda ajustar la dosis de urea y considerar las condiciones específicas del sitio para mejorar la eficacia de este método.

La fitorremediación con plantas de girasol y biorremediación con unidades de tratamiento de lechos alcanzaron a remover hidrocarburos presentes en sedimentos de estaciones de servicio (Alberto, 2017) La investigación sugiere que combinar esta metodología con otras técnicas

El estudio de APLICACIÓN DE LA TÉCNICA DE LANDFARMING PARA LA REMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS CON HIDROCARBUROS usa el landfarming como una técnica económica y efectiva, junto con la adición de urea para acelerar la biodegradación de hidrocarburos (Castillo, 2009) Los resultados mostraron que esta combinación es efectiva, aunque su éxito puede variar dependiendo de las condiciones específicas del suelo y del clima.

4.3.2. Primera hipótesis específica

Para la primera hipótesis específica no es suficiente la prueba ANOVA debido a que no se rechazan de manera general la hipótesis nula, entonces se realiza una Prueba de Tukey HSD (Honestly-significant-difference) para ver las

comparaciones entre todas las condiciones posibles de pares de grupos, estableciendo lo siguiente:

Hipótesis

- H_0 : Las medias de los datos son iguales
- H_a : al menos una de las medias es diferente

Regla de decisión

- $P < 0.05$ rechazamos la H_0 y aceptamos la H_a
- $P \geq 0.05$ acepta H_0 y rechazamos la H_a

Tabla 18
Comparaciones múltiples HSD Tukey

Variable dependiente	(I) Tratamiento de muestras	(J) Tratamiento de muestras	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
pH	M-1	M-2	,09667	,64206	1,000	-2,0164	2,2097
		M-3	,25333	,64206	,994	-1,8597	2,3664
		M-4	,41667	,64206	,963	-1,6964	2,5297
		M-5	,52000	,64206	,922	-1,5931	2,6331
	M-2	M-1	-,09667	,64206	1,000	-2,2097	2,0164
		M-3	,15667	,64206	,999	-1,9564	2,2697
		M-4	,32000	,64206	,986	-1,7931	2,4331
		M-5	,42333	,64206	,961	-1,6897	2,5364
	M-3	M-1	-,25333	,64206	,994	-2,3664	1,8597
		M-2	-,15667	,64206	,999	-2,2697	1,9564
		M-4	,16333	,64206	,999	-1,9497	2,2764
		M-5	,26667	,64206	,993	-1,8464	2,3797
	M-4	M-1	-,41667	,64206	,963	-2,5297	1,6964
		M-2	-,32000	,64206	,986	-2,4331	1,7931
		M-3	-,16333	,64206	,999	-2,2764	1,9497
		M-5	,10333	,64206	1,000	-2,0097	2,2164
M-5	M-1	-,52000	,64206	,922	-2,6331	1,5931	
	M-2	-,42333	,64206	,961	-2,5364	1,6897	



		M-3	-2,26667	,64206	,993	-2,3797	1,8464	
		M-4	-,10333	,64206	1,000	-2,2164	2,0097	
Humedad	M-1	M-2	,80000*	,13101	,001	,3688	1,2312	
		M-3	,96000*	,13101	,000	,5288	1,3912	
		M-4	1,05000*	,13101	,000	,6188	1,4812	
		M-5	1,23667*	,13101	,000	,8055	1,6678	
		M-2	M-1	-,80000*	,13101	,001	-1,2312	-,3688
		M-3	,16000	,13101	,740	-,2712	,5912	
		M-4	,25000	,13101	,372	-,1812	,6812	
		M-5	,43667*	,13101	,047	,0055	,8678	
		M-3	M-1	-,96000*	,13101	,000	-1,3912	-,5288
		M-2	-,16000	,13101	,740	-,5912	,2712	
		M-4	,09000	,13101	,955	-,3412	,5212	
		M-5	,27667	,13101	,287	-,1545	,7078	
		M-4	M-1	-1,05000*	,13101	,000	-1,4812	-,6188
		M-2	-,25000	,13101	,372	-,6812	,1812	
		M-3	-,09000	,13101	,955	-,5212	,3412	
		M-5	,18667	,13101	,627	-,2445	,6178	
		M-5	M-1	-1,23667*	,13101	,000	-1,6678	-,8055
		M-2	-,43667*	,13101	,047	-,8678	-,0055	
		M-3	-,27667	,13101	,287	-,7078	,1545	
		M-4	-,18667	,13101	,627	-,6178	,2445	
Conductividad eléctrica	M-1	M-2	41,60000	119,63893	,996	-352,1416	435,3416	
		M-3	-74,66667	119,63893	,968	-468,4082	319,0749	
		M-4	-28,66667	119,63893	,999	-422,4082	365,0749	
		M-5	57,00000	119,63893	,988	-336,7416	450,7416	
		M-2	M-1	-41,60000	119,63893	,996	-435,3416	352,1416
		M-3	-116,26667	119,63893	,862	-510,0082	277,4749	
		M-4	-70,26667	119,63893	,974	-464,0082	323,4749	
		M-5	15,40000	119,63893	1,000	-378,3416	409,1416	
		M-3	M-1	74,66667	119,63893	,968	-319,0749	468,4082
		M-2	116,26667	119,63893	,862	-277,4749	510,0082	
		M-4	46,00000	119,63893	,995	-347,7416	439,7416	
		M-5	131,66667	119,63893	,803	-262,0749	525,4082	
		M-4	M-1	28,66667	119,63893	,999	-365,0749	422,4082
		M-2	70,26667	119,63893	,974	-323,4749	464,0082	
		M-3	-46,00000	119,63893	,995	-439,7416	347,7416	
		M-5	85,66667	119,63893	,948	-308,0749	479,4082	



	M-5	M-1	-57,00000	119,63893	,988	-450,7416	336,7416
		M-2	-15,40000	119,63893	1,000	-409,1416	378,3416
		M-3	-131,66667	119,63893	,803	-525,4082	262,0749
		M-4	-85,66667	119,63893	,948	-479,4082	308,0749
Nitrógeno	M-1	M-2	-,00333	14,75382	1,000	-48,5594	48,5527
		M-3	-26,15667	14,75382	,437	-74,7127	22,3994
		M-4	-20,55000	14,75382	,645	-69,1060	28,0060
		M-5	-25,03333	14,75382	,477	-73,5894	23,5227
		M-1	,00333	14,75382	1,000	-48,5527	48,5594
	M-2	M-3	-26,15333	14,75382	,438	-74,7094	22,4027
		M-4	-20,54667	14,75382	,645	-69,1027	28,0094
		M-5	-25,03000	14,75382	,477	-73,5860	23,5260
		M-1	26,15667	14,75382	,437	-22,3994	74,7127
	M-3	M-2	26,15333	14,75382	,438	-22,4027	74,7094
		M-4	5,60667	14,75382	,995	-42,9494	54,1627
		M-5	1,12333	14,75382	1,000	-47,4327	49,6794
		M-1	20,55000	14,75382	,645	-28,0060	69,1060
	M-4	M-2	20,54667	14,75382	,645	-28,0094	69,1027
		M-3	-5,60667	14,75382	,995	-54,1627	42,9494
		M-5	-4,48333	14,75382	,998	-53,0394	44,0727
		M-1	25,03333	14,75382	,477	-23,5227	73,5894
	M-5	M-2	25,03000	14,75382	,477	-23,5260	73,5860
		M-3	-1,12333	14,75382	1,000	-49,6794	47,4327
		M-4	4,48333	14,75382	,998	-44,0727	53,0394
Fósforo		M-1	M-2	-13,07667	13,42898	,861	-57,2726
	M-3		-17,56000	13,42898	,693	-61,7559	26,6359
	M-4		-35,49000	13,42898	,135	-79,6859	8,7059
	M-5		-57,91000 ⁺	13,42898	,010	-102,1059	-13,7141
	M-1		13,07667	13,42898	,861	-31,1192	57,2726
	M-2	M-3	-4,48333	13,42898	,997	-48,6792	39,7126
		M-4	-22,41333	13,42898	,491	-66,6092	21,7826
		M-5	-44,83333 ⁺	13,42898	,046	-89,0292	-,6374
		M-1	17,56000	13,42898	,693	-26,6359	61,7559
	M-3	M-2	4,48333	13,42898	,997	-39,7126	48,6792
		M-4	-17,93000	13,42898	,678	-62,1259	26,2659
		M-5	-40,35000	13,42898	,078	-84,5459	3,8459
M-4		M-1	35,49000	13,42898	,135	-8,7059	79,6859
	M-2	22,41333	13,42898	,491	-21,7826	66,6092	



		M-3	17,93000	13,42898	,678	-26,2659	62,1259
		M-5	-22,42000	13,42898	,491	-66,6159	21,7759
	M-5	M-1	57,91000*	13,42898	,010	13,7141	102,1059
		M-2	44,83333*	13,42898	,046	,6374	89,0292
		M-3	40,35000	13,42898	,078	-3,8459	84,5459
		M-4	22,42000	13,42898	,491	-21,7759	66,6159
Potasio	M-1	M-2	-5,60333	12,99495	,992	-48,3708	37,1641
		M-3	-13,07667	12,99495	,847	-55,8441	29,6908
		M-4	14,94333	12,99495	,778	-27,8241	57,7108
		M-5	46,70333*	12,99495	,031	3,9359	89,4708
	M-2	M-1	5,60333	12,99495	,992	-37,1641	48,3708
		M-3	-7,47333	12,99495	,976	-50,2408	35,2941
		M-4	20,54667	12,99495	,539	-22,2208	63,3141
		M-5	52,30667*	12,99495	,016	9,5392	95,0741
	M-3	M-1	13,07667	12,99495	,847	-29,6908	55,8441
		M-2	7,47333	12,99495	,976	-35,2941	50,2408
		M-4	28,02000	12,99495	,270	-14,7474	70,7874
		M-5	59,78000*	12,99495	,007	17,0126	102,5474
	M-4	M-1	-14,94333	12,99495	,778	-57,7108	27,8241
		M-2	-20,54667	12,99495	,539	-63,3141	22,2208
		M-3	-28,02000	12,99495	,270	-70,7874	14,7474
		M-5	31,76000	12,99495	,181	-11,0074	74,5274
	M-5	M-1	-46,70333*	12,99495	,031	-89,4708	-3,9359
		M-2	-52,30667*	12,99495	,016	-95,0741	-9,5392
		M-3	-59,78000*	12,99495	,007	-102,5474	-17,0126
		M-4	-31,76000	12,99495	,181	-74,5274	11,0074

Nota: en la tabla se muestra la diferencia de medias de los parámetros del suelo en estudio, la diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

Conclusión HSD Tukey

Como el nivel de significancia es $P > 0.05$ Se acepta la hipótesis nula H_0 y se rechaza la hipótesis alternativa H_a , se concluye que, para pH, Conductividad eléctrica, nitrógeno, fósforo y potasio existen datos homogéneos.



Se acepta la primera hipótesis específica, La urea interviene efectivamente en la remediación de suelos contaminados por hidrocarburos, a excepción de algunas muestras del fósforo y potasio

La bioestimulación mediante la adición de nutrientes nitrógeno y fósforo junto con humedad y aireación de microorganismos en proporciones de 1:1.5, acelera la descomposición de hidrocarburos (Rivera Ortiz et al., 2018). La eficacia de la urea varía dependiendo de las características del suelo y del nivel de contaminación. Es necesario adaptar las estrategias de remediación a las condiciones específicas del suelo

Controlando la temperatura, pH y humedad en la fitorremediación y biorremediación removieron el 16.90% y 50.90% de hidrocarburos (Alberto, 2017). La aplicación de urea restauró la conductividad eléctrica y ajustó el pH del suelo. Se observó que la conductividad eléctrica alcanzó 185.30 uS/cm y el pH se redujo a 7.75, indicando mejoras en la calidad del suelo. Estos cambios fueron críticos para la remediación efectiva.

El landfarming es un método eficaz y económico para limpiar suelos contaminados con hidrocarburos, mejorado por la adición de urea para acelerar la biodegradación. (Castillo, 2009) El landfarming mejora la estructura y aireación del suelo, creando un ambiente adecuado para la actividad microbiana, mientras que la urea proporciona los nutrientes necesarios para mantener y aumentar dicha actividad.

4.3.3. Segunda hipótesis específica

Para la segunda hipótesis específica se realiza la correlación de Pearson, estableciendo lo siguiente:

Hipótesis

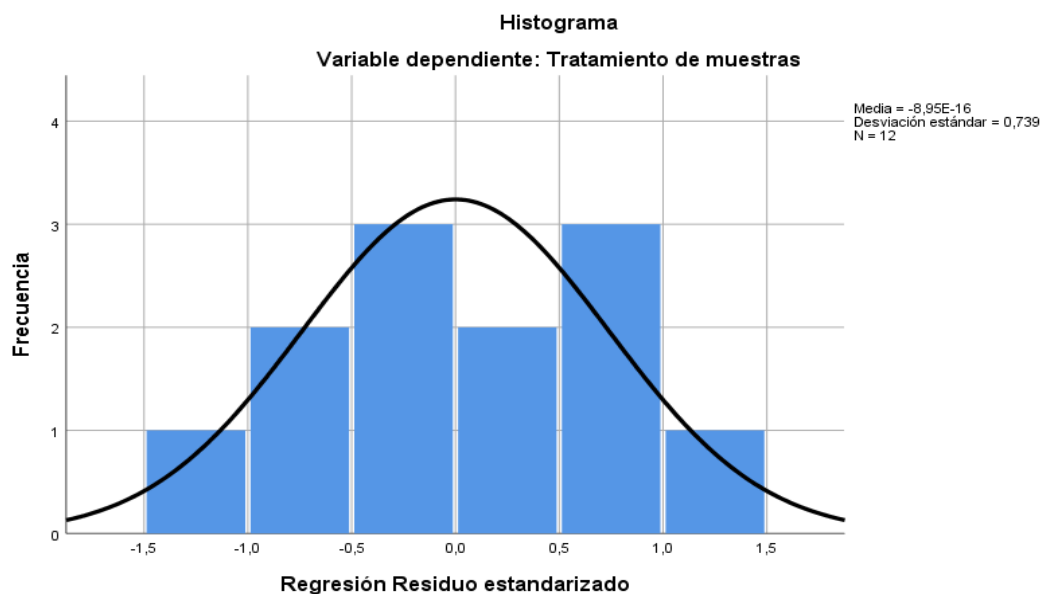
- H_0 : No hay relación entre grupos de datos
- H_a : Existe relación entre grupos de datos

Regla de decisión

- $P < 0.05$ rechazamos la H_0 y aceptamos la H_a
- $P \geq 0.05$ acepta H_0 y rechazamos la H_a

Figura 55

Histograma de normalidad de residuos del tratamiento de muestras

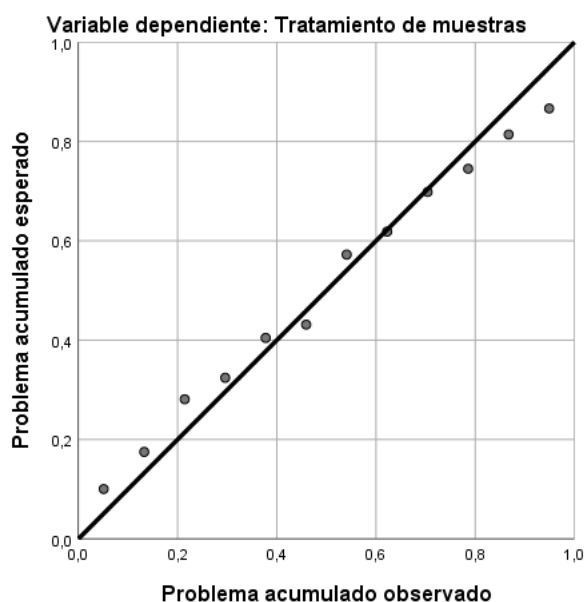


Nota. La figura muestra la distribución normal de la regresión de residuos estandarizados.

Figura 56

Gráfico P-P normal de regresión residuo estandarizado

Gráfico P-P normal de regresión Residuo estandarizado



Nota. La figura muestra la probabilidad normal de un conjunto de datos los cuales tienen una aproximación normal.

Tabla 19

Correlación de Pearson

		Tratamiento de muestras	pH	Humedad	Conductividad eléctrica	Nitrógeno	Fósforo	Potasio
Tratamiento de muestras	Correlación de Pearson	1	-,287	-,859**	-,048	,527*	,809**	-,649**
	Sig. (bilateral)		,300	,000	,865	,043	,000	,009
	N	15	15	15	15	15	15	15
pH	Correlación de Pearson	-,287	1	,429	,547*	-,325	-,264	-,162
	Sig. (bilateral)	,300		,110	,035	,238	,342	,563
	N	15	15	15	15	15	15	15
Humedad	Correlación de Pearson	-,859**	,429	1	,244	-,451	-,586*	,336
	Sig. (bilateral)	,000	,110		,381	,092	,022	,220
	N	15	15	15	15	15	15	15
Conductividad eléctrica	Correlación de Pearson	-,048	,547*	,244	1	-,017	,100	,031
	Sig. (bilateral)	,865	,035	,381		,953	,723	,914
	N	15	15	15	15	15	15	15



Nitrógeno	Correlación de Pearson	,527*	-,325	-,451	-,017	1	,601*	,047
	Sig. (bilateral)	,043	,238	,092	,953		,018	,869
	N	15	15	15	15	15	15	15
Fósforo	Correlación de Pearson	,809**	-,264	-,586*	,100	,601*	1	-,521*
	Sig. (bilateral)	,000	,342	,022	,723	,018		,046
	N	15	15	15	15	15	15	15
Potasio	Correlación de Pearson	-,649**	-,162	,336	,031	,047	-,521*	1
	Sig. (bilateral)	,009	,563	,220	,914	,869	,046	
	N	15	15	15	15	15	15	15

Nota: La correlación es significativa en el nivel 0,01 bilateral (**). La correlación es significativa en el nivel 0,05 bilateral (*)

Conclusión Pearson

Como el nivel de significancia es $P < 0.05$ Se acepta la hipótesis alterna H_a y se rechaza la hipótesis nula H_0 , se concluye que, para Humedad, nitrógeno, fósforo y potasio, existen relación entre grupos de datos. Con respecto al tratamiento de muestras con 0, 500, 1000 y 1500gr. de urea como nutriente de remediación. Pero vemos una correlación fuerte entre el pH y la conductividad eléctrica por lo que se utilizó a la conductividad eléctrica como referente para la dosificación adecuada, ya que este valor logra alcanzar la media del parámetro inicial.

Se acepta la segunda hipótesis específica, La dosificación adecuada para el empleo de la urea en la remediación de suelos contaminados por hidrocarburos dependerá de un buen resultado de los ensayos.



La bioestimulación, al añadir nutrientes como nitrógeno y fósforo junto con humedad y aireación de microorganismos en una proporción de 1:1.5, disminuyó la conductividad eléctrica de 77 a un rango de 36 a 40 ds/m (Rivera Ortiz et al., 2018). Al controlar la temperatura, el pH y la humedad, la fitorremediación y la biorremediación lograron eliminar un 16.90% y un 50.90% de hidrocarburos, respectivamente. (Alberto, 2017) justamente en nuestra investigación controlamos la conductividad eléctrica encontrando que una dosificación de 1267.39 gramos de urea resultó eficaz y reducir el pH del suelo, equilibrando nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo y potasio.

Comparando con los parámetros del suelo contaminado, que presentaba un pH de 8.13, una humedad del 1.39%, una conductividad eléctrica de 143.70 $\mu\text{S}/\text{cm}$, nitrógeno de 31.76 kg/ha, fósforo de 141.98 kg/ha y potasio de 136.37 kg/ha. Se observó una disminución en el pH de 0.38, en la humedad de 0.55%, y en el potasio de 33.54 kg/ha. Por otro lado, se registró un aumento en la conductividad eléctrica de 41.60 $\mu\text{S}/\text{cm}$, en el nitrógeno de 25.58 kg/ha y en el fósforo de 33.09 kg/ha

En suelos con alta concentración de aceite residual automotriz (ARA), la aplicación de urea como parte de la bioestimulación y fitorremediación con *Sorghum bicolor* redujo significativamente el ARA de niveles superiores a 4400 ppm a valores muy inferiores (Sánchez Yañes et al., 2015), demostrando su eficacia ecológica frente a métodos costosos y contaminantes.

4.3.4. Tercera hipótesis específica

Para la tercera hipótesis específica se realiza la correlación de Pearson, estableciendo lo siguiente:

Hipótesis

- H_0 : No hay relación entre grupos de datos
- H_a : Existe relación entre grupos de datos

Regla de decisión

- $P < 0.05$ rechazamos la H_0 y aceptamos la H_a
- $P \geq 0.05$ acepta H_0 y rechazamos la H_a

Tabla 20
Correlación de Pearson

	Tratamiento de muestras	pH	Humedad	Conductividad eléctrica	Nitrógeno	Fósforo	Potasio	
Tratamiento de muestras	Correlación de Pearson	1	-,287	-,859**	-,048	,527*	,809**	-,649**
	Sig. (bilateral)		,300	,000	,865	,043	,000	,009
	N	15	15	15	15	15	15	15
pH	Correlación de Pearson	-,287	1	,429	,547*	-,325	-,264	-,162
	Sig. (bilateral)	,300		,110	,035	,238	,342	,563
	N	15	15	15	15	15	15	15
Humedad	Correlación de Pearson	-,859**	,429	1	,244	-,451	-,586*	,336
	Sig. (bilateral)	,000	,110		,381	,092	,022	,220
	N	15	15	15	15	15	15	15
Conductividad eléctrica	Correlación de Pearson	-,048	,547*	,244	1	-,017	,100	,031
	Sig. (bilateral)	,865	,035	,381		,953	,723	,914
	N	15	15	15	15	15	15	15
Nitrógeno	Correlación de Pearson	,527*	-,325	-,451	-,017	1	,601*	,047



	Sig. (bilateral)	,043	,238	,092	,953	,018	,869
	N	15	15	15	15	15	15
Fósforo	Correlación de Pearson	,809**	-,264	-,586*	,100	,601*	1
	Sig. (bilateral)	,000	,342	,022	,723	,018	,046
	N	15	15	15	15	15	15
Potasio	Correlación de Pearson	-,649**	-,162	,336	,031	,047	-,521*
	Sig. (bilateral)	,009	,563	,220	,914	,869	,046
	N	15	15	15	15	15	15

Nota: La correlación es significativa en el nivel 0,01 bilateral (**). La correlación es significativa en el nivel 0,05 bilateral (*).

Conclusión Pearson

Como el nivel de significancia es $P < 0.05$ Se acepta la hipótesis alterna H_a y se rechaza la hipótesis nula H_0 , se concluye que, para Humedad, nitrógeno, fósforo y potasio, existen relación entre grupos de datos. Con respecto al tratamiento de muestras con 0, 500, 1000 y 1500gr. de urea como nutriente de remediación. Además, que la tendencia en el pH, Humedad, Conductividad eléctrica y potasio es negativa, mientras que el nitrógeno y fósforo son positivos.

Se acepta la tercera hipótesis específica, La aplicación de nutrientes, la estimulación realizando un volteo manual como fuente de oxígeno, facilita la absorción de todos los elementos del suelo, descomponiendo los hidrocarburos de forma más rápida.



En la década de 1990, se avanzó en la biorremediación mediante el desarrollo de tecnologías que permiten el "burbujeo de oxígeno" en áreas situadas por debajo del nivel freático.(Helena et al., 2014) a la actualidad el landfarming viene a ser una técnica exitosa pero requiere un conocimiento detallado de las condiciones locales y una planificación cuidadosa para abordar las limitaciones específicas del sitio así también lo menciona (Sepúlveda & Trejo, 2002) en sus investigaciones de tecnologías de remediación de suelos.

Finalmente en Puno cuando se investigó al *A. magellanicus bracteatus* y *M. angustata* mediante coeficientes biológicos como absorción biológico- BAC, factor de translocación - BT y factor de remediación -RC + (Argota Pérez et al., 2014) en el cual no se encontraron diferencias en sus resultados, nuestra investigación difiere de la misma puesto que se usa una técnica diferente encontrando resultados más satisfactorios a los antecedentes mencionados.



CONCLUSIONES

Primera.- La urea es un nutriente que puede tener aplicaciones en la remediación de suelos contaminados. En el caso de suelos contaminados por hidrocarburos, la técnica de la adición de la urea es versátil y puede adaptarse a diferentes tipos de suelos y condiciones ambientales. Además, logra actuar como fuente de nitrógeno para microorganismos que descomponen los contaminantes presentes en los suelos reduciendo el pH y tratando de conservar la conductividad eléctrica antes de ser contaminado, evitando la necesidad de soluciones químicas más agresivas.

Segunda.- La dosificación óptima de nutrientes para la remediación de suelos contaminados por hidrocarburos (petróleo) se determinó en 1267.39 gramos, logrando restablecer la conductividad eléctrica a niveles similares a los del suelo antes de la contaminación, con un valor de 185.30 uS/cm. Además, se observó una reducción del pH a 7.75, indicando una corrección exitosa. Sin embargo, es importante destacar que, en cuanto a la humedad, fósforo y potasio, se obtendrán valores variados debido a las condiciones específicas del suelo, marcando la necesidad de considerar estos factores de manera individualizada en futuras aplicaciones de la técnica. Asimismo, se logró alcanzar un equilibrio en los niveles de nitrógeno, fósforo y potasio a 57.34 kg/ha, 175.07 kg/ha y 102.83 kg/ha respectivamente, contribuyendo a la restauración del suelo contaminado. Estos resultados subrayan la importancia de una dosificación precisa de nutrientes para lograr una efectiva remediación y resaltar la necesidad de monitoreo continuo para evaluar y ajustar el proceso según las características específicas de cada área afectada.



Tercera.- El landfarming se destaca como una opción más viable para limpiar suelos contaminados en comparación con otras técnicas costosas. Sin embargo, su efectividad depende de varios factores, como el tipo y grado de contaminación, el clima y la capacidad del suelo para el tratamiento. Evaluar estos elementos es crucial para decidir si el landfarming es adecuado en la selección de estrategias de remediación del suelo.



RECOMENDACIONES

Primera.- Realizar estudios detallados de la composición del suelo, su estructura y la naturaleza de los hidrocarburos presentes antes de aplicar la técnica de adición de urea para adaptar el tratamiento a las condiciones específicas. Además

Segunda.- Implementar un sistema de monitoreo continuo para evaluar la eficacia de la técnica a lo largo del tiempo y realizar ajustes según sea necesario, garantizando un proceso de remediación efectivo, fomentando la investigación continua sobre la interacción entre la urea, los microorganismos y los hidrocarburos en distintos tipos de suelos, con el objetivo de mejorar y perfeccionar la aplicación de esta técnica.

Tercera.- Es esencial tener en cuenta que, aunque el landfarming puede ser efectivo para ciertos tipos de contaminación del suelo, es necesario considerar las condiciones climáticas locales al planificar la aplicación de urea. Factores como la temperatura y la humedad pueden afectar la actividad microbiana y, por lo tanto, la eficacia del proceso. Además, se deben considerar las preocupaciones ambientales, de salud y seguridad durante el procedimiento.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alberto, F. (2017). *Biorrecuperación de sedimentos contaminados con hidrocarburos totales generados en las estaciones de servicio*. 98.
- Argota Pérez, G., Encina Cáceres, M., Argota Coello, H., & Iannacone O, J. (2014). Coeficientes biológicos de fitorremediación de suelos expuestos a plomo y cadmio utilizando *Alopecurus magellanicus* var. *bracteatus* y *Muhlenbergia angustata* (Poaceae), Puno, Perú. *The Biologist*, 12(1), 99–108. <https://doi.org/ISSN 1994-9073>
- Ariza, C., & Mejía, S. (2017). Optimización Del Proceso De Landfarming Para Mejorar La Funcionalidad Del Tratamiento De Suelos Contaminados Con Hidrocarburos Mediante La Adición De Materia Orgánica. *Scientific International Journal™*, 14(3), 11. <http://www.nperci.org/C. Ariza & S. Mejía- Optimización del proceso de landfarming-V14N3.pdf>
- Asesoría agrícola y Capacitaciones. (2023). *Cropaia - Asesoría agrícola y capacitaciones _ Cropaia*. <https://croipaia.com/es/#servicios>
- Cámara Argentina de Laboratorios Independientes, Bromatológicos, A. y A. (CALIBA). (2014). *Métodos analíticos para la determinación de hidrocarburos* (p. 8). http://www.caliba.org.ar/inicio/notatecnica_ene_2014.pdf
- Castillo, P. (2009). Aplicación de la técnica de landfarming para la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos. *Pirhua*, 89.



https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/3113/ICI_171.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Coitiño-López, J., Barbazán, M., & Ernst, O. (2015). Conductividad eléctrica aparente para delimitar zonas de manejo en un suelo agrícola con reducida variabilidad en propiedades físico-químicas. *Agrociencia*, 19(1), 102–111. <https://doi.org/10.31285/agro.19.326>

Coria, I. D. (2007). Remediación de suelos contaminados con hidrocarburos. *Universidad Abierta Interamericana*, 1–7.

Cossio, M. L. T., Giesen, L. F., Araya, G., Pérez-Cotapos, M. L. S., Vergara, R. L., Manca, M., Tohme, R. A., Holmberg, S. D., Bressmann, T., Lirio, D. R., Román, J. S., Solís, R. G., Thakur, S., Rao, S. N., Lenin, C. M., Cian, L. F., Douglas, M. J., & Héritier, F. (2012). Biorremediación. *Uma Ética Para Quantos?*, XXXIII(2), 81–87. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>

Crespo González, A. (2018). *Revisión Del Tratamiento De Las Alteraciones En El Ciclo De La Urea*. 1–20.

Cuartas, D. Ñ. (2012). Biorremediación para la degradación de Hidrocarburos totales presentes en los sedimentos de una estación de Servicio Combustible. *Universidad de Pereira*.

Díaz, J., Ricoy, cristina, Moreno, C., Ricoy, V., Perez, V., & Valbuena, O. (2013). *Incorporación de Alcanos Por Bacterias Degradadoras de Hidrocarburos mediada por una Proteína de 70 KDa Combustible Diesel*. 38, 437–442.



- Elsa Zotta, F. O. N. L. Y. C. I. (2009). El manejo de la urea y su mecanismo de adaptación durante la enfermedad renal. *Revista de Nefrología, Dialisis y Transplante*, 29(1), 35–40.
- Encinas, M. (2011). Medio Ambiente Y Contamianción. Principios Básicos. In *Addi.Ehu.Es*. <https://bit.ly/2QDqF6R>
- Fernández, M. (1984). *La Urea, Fertilizante Nitrogenado*. 26–28.
- Gallart-Martínez, F. (2017). *La conductividad eléctrica del suelo como indicador de la capacidad de uso de los suelos de la zona norte del Parque Natural de la Albufera de Valencia*. 34. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/94368/GALLART> - La conductividad eléctrica del suelo como indicador de la capacidad de uso de los suelo....pdf?sequence=1
- Geotecnia. (2000). Remediación de suelos contaminadas por hidrocarburos mediante biopilas: Caso práctico. *PONENCIA*, 2000, 1–92. <http://www.geotecnia2000.com/files/archivos/Ponencia> - Suelos Contaminados.pdf
- González, H. R., Moroyoqui, P. G., Fernández, I. M., Jesús, J. De, & Cortés, B. (2011). Sinergia en surfactantes para la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos. *Química y Medio Ambiente*, 107, 243–249.
- Helena, P., Cardona, P., Del, G., & Mercado, C. (2014). *Petróleo En Colombia*



Bioremediation Contaminated Soil Oil Spill in Colombia Petroleum.

Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, C., & Baptista-Lucio, P. (2006).

Análisis de los datos cuantitativos. In *Metodología de la investigación*.

Hormaeche Azumendi, J. I. ; A. P. de L. D. T. S. de O. F. (2008). *El petróleo y la energía en la economía*.

Ibarra-Castillo, D. (2009). Distribución espacial del pH de los suelos Agrícolas de Zapopan, Jalisco, México. *Agricultura Técnica En México*, 35(3), 267–276.

Infante, C., & García, F. A. M. (2012). Evaluación de la toxicidad en desechos y suelos petrolizados empleando semillas de *Lactuca sativa* L. *Interciencia*, 37(10), 782–788.

INFOAGRO. (2023). *NPK: Dosis recomendadas segun necesidades hidricas y disponibilidad de suelos*. Infoagro.
https://www.infoagro.com/documentos/npk__dosis_recomendadas_segun_necesidades_hidricas_y_disponibilidad_suelos.asp

Iturbe Arguelles, R. (2013). ¿Qué es la biorremediación? *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Machuca Manrique, E. G. (2014). Universidad Nacional Del Centro Del Peru. *Universidad Nacional Del Centro Del Centro De Posgrado*, 10–11.
<http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/5992>



- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, M. (2022). *Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego - MIDAGRI - Gobierno del Perú*. <https://www.gob.pe/midagri>
- Moya-Ramírez, I., García-Román, M., Henares-Jiménez, M., Jurado-Alameda, E., & Altmajer-Vaz, D. (2014). Remediación de Suelos Contaminados con Aceite de Motor Mediante Tensioactivos Altamente Biodegradables. *Remediation Of Soils Contaminated With Motor Oil By Highly Biodegradable Surfactants*. (English), 5(2), 21–30. <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=fua&AN=97140154&lang=es&site=ehost-live>
- Nel Quezada, L. (2010). Estadística para ingenieros. In *Macro E.I.R.L.* (Vol. 1, Issue 69).
- Osinermin, García-López, E., Zavala-Cruz, J., Palma-López, D. J., MINEM, PERUPETRO, EnergíaPerú, Martínez, V. E., Grados, C., Pacheco, E., Barbosa, W., Carlo, G., Ramos, D., Serna, J., Scavino, S., & Ron, L. (2020). La industria de los Hidrocarburos Líquidos en el Perú. In *Estadísticas de producción de petróleo en el Perú* (Vol. 85, Issue 1). <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2014/155400.pdf>
- Quezada Lucio, N. (2010). *Estadística para Ingenieros*. Macro E.I.R.L.
- Rivera Ortiz, P., Rivera Lárraga, J. E., Andrade Limas, E. D. C., Heyer Rodríguez, L., De La Garza Requena, F. R., & Castro Meza, B. I. (2018). Bioestimulación y biorremediación de recortes de perforación contaminados



con hidrocarburos. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 34(2), 249–262. <https://doi.org/10.20937/RICA.2018.34.02.06>

Rosario Guerra, M. (2005). Diseño Editorial: ITEMS Ltda Bogotá - Colombia. *COLCIENCIAS*, 212.

Salinas, J. P., & Sarmiento, R. (2020). *Biorremediación de HAPs en microcosmos de suelo mediante bioestimulación con nitrógeno nivel de laboratorio*. 95. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19781/1/UPS-CT008953.pdf>

Sánchez Yañes, J. M., Alonso Bravo, Jennyfer Nayeli Dasgupta Schuber, N., & Márquez Benavides, L. (2015). *Biorremediación de suelo contaminado con 55000 y 65000 de aceite residual automotriz y fitorremediación con Sorghum bicolor inoculado con Burkholderia cepacia y Penicillium chrysogenum Bioremediation of soil contaminated by waste motor oil in 55000 and. 86–94.*

Sataloff, R. T., Johns, M. M., & Kost, K. M. (2003). Hidrocarburos. *Secretaría de Energía En Argentina*, 72.

Saval Bohórquez, S. (1998). La Reparación del daño, Aspectos técnicos: Remediación y restauración. *La Responsabilidad Jurídica En El Daño Ambiental*, 209–235.

Sembralia. (2020). *Fertilizantes NPK*. <https://sembralia.com/blogs/blog/fertilizantes-npk#:~:text=¿Qué son los>



Fertilizantes NPK

Sepúlveda, T. V., & Trejo, J. V. (2002). Tecnologías de remediación para suelos contaminados. In *Jiménez Editores*. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>

Sierra Gomez, J. S. (2021). *Biorremediación por landfarming de suelos contaminados por hidrocarburos*. 6.

Toledo Morán, B. K. (2009). *Aplicación de procesos biológicos como medida de remediación para recuperar suelos limo-arcillosos contaminados con gasolina*.

Torres Delgado, K., & Zuluaga Montoya, T. (2013). Biorremediación de suelos contaminados en Colombia. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Universidad de Ácala. (2012). Remediación contra eventos de contaminación masiva. *Seminario*, 22. http://www2.uah.es/tejedor_bio/bioquimica_ambiental/remediacion.pdf

Valdivieso, G. (2011). Los residuos tecnológicos, un problema social y ambiental. *TIC y Medio Ambiente*, 1–12.

Vera, A. (2013). *Principales Tipos de Investigación*. <http://www.monografias.com/trabajos58/principales-tipos-investigacion/principales-tipos-investigacion.shtml>



ANEXOS



Anexo 1

MATRIZ DE CONSISTENCIA

TÍTULO: ANÁLISIS DE LA TÉCNICA DE LA ADICIÓN DE LA UREA EN LA REMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS POR HIDROCARBUROS DE LA CIUDAD DE JULIACA - 2022

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN
<p><u>Interrogante general</u></p> <p>¿cómo es la técnica de la adición de la urea en la remediación de suelos contaminados por hidrocarburos de la ciudad de Juliaca-2022?</p> <p><u>Interrogantes específicas</u></p> <p>¿Cómo interviene la urea en la remediación de suelos contaminados por hidrocarburos?</p> <p>¿Cuál es la dosificación de la urea para el empleo en la remediación de suelos contaminados por hidrocarburos?</p> <p>¿De qué manera afecta la urea en la estimulación de la degradación de hidrocarburos en suelos contaminados?</p>	<p><u>Objetivo general</u></p> <p>Analizar la técnica de la adición de la urea en la remediación de suelos contaminados por hidrocarburos de la ciudad de Juliaca-2022</p> <p><u>Objetivos específicos</u></p> <p>- Determinar cómo interviene la urea en la remediación de suelos contaminados por hidrocarburos.</p> <p>- Establecer la dosificación de la urea para el empleo en la remediación de suelos contaminados por hidrocarburos.</p> <p>- Comparar el efecto de la urea en la estimulación de la degradación de hidrocarburos de suelos contaminados</p>	<p><u>Hipótesis general</u></p> <p>la técnica de la adición de la urea es eficaz en la remediación de suelos contaminados por hidrocarburos en la ciudad de Juliaca.</p> <p><u>Hipótesis específicas</u></p> <p>- La urea interviene efectivamente en la remediación de suelos contaminados por hidrocarburos.</p> <p>- La dosificación adecuada para el empleo de la urea en la remediación de suelos contaminados por hidrocarburos dependerá de un buen resultado de los ensayos.</p> <p>- La aplicación de nutrientes, la estimulación realizando un volteo manual como fuente de oxígeno, facilita la absorción de todos los elementos del suelo, descomponiendo los hidrocarburos de forma más rápida.</p>	<p>VARIABLE INDEPENDIENTE</p> <p>REMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS POR HIDROCARBUROS MEDIANTE LA TECNICA DE LA ADICIÓN DE LA UREA EN LA CIUDAD DE JULIACA.</p> <p>VARIABLE DEPENDIENTE</p> <p>COMPORTAMIENTO DE LOS SUELOS CONTAMINADOS POR HIDROCARBUROS MEDIANTE LA ADICIÓN DE LA UREA</p> <p>- la urea en la remediación de suelos contaminados por hidrocarburos.</p> <p>- la dosificación adecuada para el empleo de la urea en la remediación de suelos contaminados por hidrocarburos.</p> <p>- el efecto de la estimulación en la degradación de hidrocarburos en sedimentos generados por una estación de servicio de combustible.</p> <p>CRITERIOS DE CONTROL</p> <p>a.- Características químicas (contenido de nutrientes).</p> <p>b.- Características físicas (textura) del suelo patrón.</p>	<p>LINEA DE INVESTIGACIÓN: CONTAMINACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL</p> <p>NIVEL: APLICATIVO</p> <p>TIPO DE INVESTIGACIÓN: EVALUATIVA – CORRELACIONAL</p> <p>ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN: CUANTITATIVO</p> <p>POBLACIÓN: Suelos contaminados por hidrocarburos de estrato de suelo con mayor capacidad de soporte de la urbanización Anexo Jesús Nazareno</p> <p>MUESTRA: Suelos contaminados por hidrocarburos de la ciudad de Juliaca</p> <p>TIPO DE MUESTREO: No probabilístico, el muestreo es a conveniencia, intencional a criterio del investigador. Por lo que se empleara la estimación puntual.</p> <p>TÉCNICAS E INDICADORES:</p> <p>a.- Muestreo y análisis del suelo</p> <p>b.- Adición de la urea</p> <p>c.- Observación directa</p> <p>c.- Descripción y medición de los parámetros de suelo</p> <p>INSTRUMENTOS:</p> <p>a.- Laboratorio de la UPeU, informes de laboratorio, software de análisis de datos.</p>

AUTOR: MG. EDWIN PARILLO ESCARSENA



Anexo 2 ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN DE SUELO – PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO

G&C CONSULTORES Y CONTRATISTAS GENERALES S.A.C.
G&C GEOTECHNIK MATERIAL TEST LABOR
 LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN & ENSAYO DE MATERIALES
CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL
 STANDARD TEST METHODS FOR LABORATORY DETERMINATION OF WATER (MOISTURE) CONTENT OF SOIL AND ROCK BY MASS (ASTM D 2216 - 19)

PROYECTO	ANÁLISIS DE LA TÉCNICA DE LA ADICIÓN DE LA UREA EN LA REMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS POR HIDROCARBUROS DE LA CIUDAD DE JULIACA - 2022	Registro N°	: UANCV_EPG-08/23-01:1-G&C
		Fecha	: 23 de agosto del 2023

DATOS GENERALES			
UBICACIÓN	: CIUDAD DE JULIACA, DIST. JULIACA, PROV. SAN ROMÁN - DEP. PUNO		
PROCEDENCIA	: SUELO NATURAL	SOLICITANTE	: Mg. EDWIN PARILLO ESCARSENA
CALICATA	: C - 01	TAMANO MÁXIMO	: 1/4 in
MUESTRA	: M - 01	NIVEL FREÁTICO	: -.-
PROFUNDIDAD	: 1.70 m		
		COORDENADAS	
		ESTE	:
		NORTE	:
		COTA	:

N° Tara	N° DE ENSAYOS	1			2			3		
		CH - 01	CH - 02	CH - 03	CH - 01	CH - 02	CH - 03	CH - 01	CH - 02	CH - 03
Masa Tara	[g]	70.72	72.20	78.94	343.75	411.41	454.81	324.93	386.57	429.89
Masa Tara + Suelo Humedo	[g]	18.82	24.84	24.92	254.21	314.37	350.95	7.40	7.90	7.10
Masa Tara + Suelo Seco	[g]									
Masa Agua	[g]									
Masa Suelo Seco	[g]									
Contenido de Humedad	[g]									
PROMEDIO	(%)								7.5	

Observaciones:
 LAS MUESTRAS Y DATOS FUERON PROPORCIONADOS POR EL RESPONSABLE DEL ESTUDIO.

G&C CONSULTORES Y CONTRATISTAS GENERALES S.A.C.

 ING. ALEX LUIS GÓMEZ CALLA
 ESPECIALISTA EN GEOTECNIA Y ENSAYO DE MATERIALES
 CIP N° 209176



G&C CONSULTORES Y CONTRATISTAS GENERALES S.A.C.

G&C GEOTECHNIK MATERIAL TEST LABOR

LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN & ENSAYO DE MATERIALES



LIMITES DE CONSISTENCIA - PASA MALLA N° 40

STANDARD TEST METHODS FOR LIQUID LIMIT, PLASTIC LIMIT, AND PLASTICITY INDEX OF SOILS (ASTM D 4318 - 17 e1)

PROYECTO	ANÁLISIS DE LA TÉCNICA DE LA ADICIÓN DE LA UREA EN LA REMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS POR HIDROCARBUROS DE LA CIUDAD DE JULIACA - 2022	Registro N°	: UANCV_EPG-08/23-01:1-G&C
		Fecha	: 23 de agosto del 2023

DATOS GENERALES

UBICACIÓN	: CIUDAD DE JULIACA, DIST. JULIACA, PROV. SAN ROMÁN - DEP. PUNO		
PROCEDENCIA	: SUELO NATURAL	SOLICITANTE	: Mg. EDWIN PARILLO ESCARSENA
CALICATA	: C - 01	COORDENADAS	
MUESTRA	: M - 01	TAMANO MÁXIMO	: 1/4 in
PROFUNDIDAD	: 1.70 m	NIVEL FREÁTICO	: -:-
		ESTE	:
		NORTE	:
		COTA	:

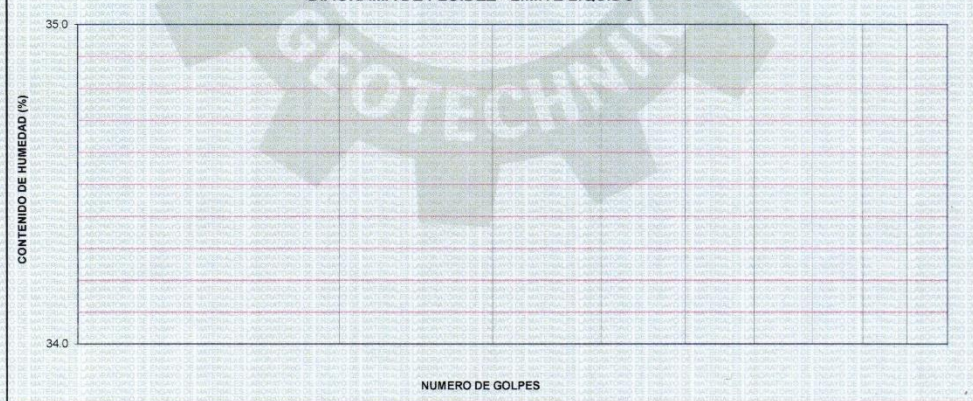
LÍMITE LÍQUIDO (ASTM D 4318 - 17 e1)

Nro. DE TARA	n°			
MASA DE LA TARA	[g]		NP	
MASA TARA + SUELO HUMEDO	[g]			
MASA TARA + SUELO SECO	[g]			
MASA DE AGUA	[g]			
MASA DEL SUELO SECO	[g]			
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)			
NUMERO DE GOLPES	n°			

LÍMITE PLÁSTICO (ASTM D 4318 - 17 e1)

MASA DE LA TARA	[g]		NP	
MASA TARA + SUELO HUMEDO	[g]			
MASA TARA + SUELO SECO	[g]			
MASA DE AGUA	[g]			
MASA DEL SUELO SECO	[g]			
CONTENIDO DE DE HUMEDAD	(%)	NP	NP	

DIAGRAMA DE FLUIDEZ - LÍMITE LÍQUIDO



CONSTANTES FISICAS DE LA MUESTRA

LÍMITE LÍQUIDO	NP
LÍMITE PLÁSTICO	NP
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	NP



OBSERVADORES Y CONTRATISTAS GENERALES S.A.C.

MUESTRAS Y DATOS FUERON PROPORCIONADOS POR EL RESPONSABLE DEL ESTUDIO
ING. ALEX LUIS GÓMEZ CALLA
ESPECIALISTA EN GEOTECNIA Y ENSAYO DE MATERIALES
CIP N° 209176



G&C CONSULTORES Y CONTRATISTAS GENERALES S.A.C.

G&C GEOTECHNIK MATERIAL TEST LABOR

LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN & ENSAYO DE MATERIALES

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

STANDARD TEST METHOD FOR PARTICLE-SIZE ANALYSIS OF SOILS (ASTM D 422 - 63 (2007) e2)

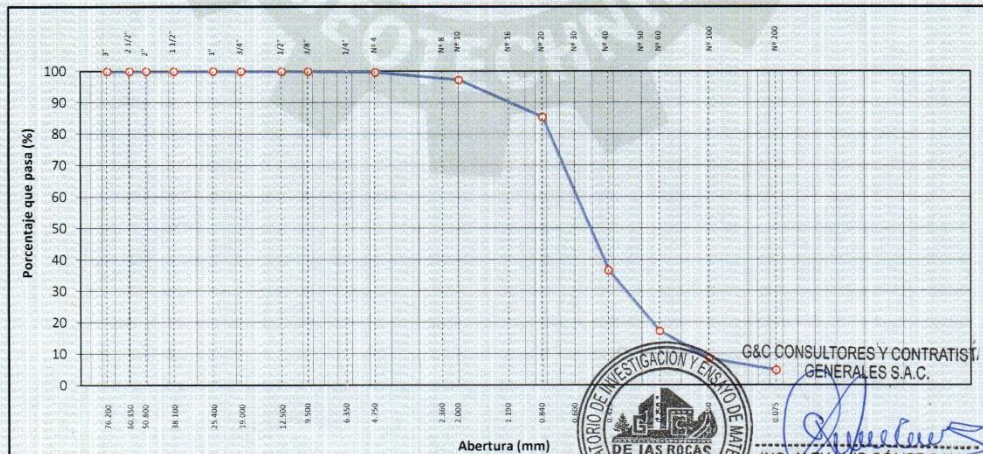
PROYECTO	ANÁLISIS DE LA TÉCNICA DE LA ADICIÓN DE LA UREA EN LA REMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS POR HIDROCARBUROS DE LA CIUDAD DE JULIACA - 2022	Registro N°	: UANCV_EPG-08/23-01:1-G&C
		Fecha	: 23 de agosto del 2023

DATOS GENERALES

UBICACIÓN	: CIUDAD DE JULIACA, DIST. JULIACA, PROV. SAN ROMÁN - DEP. PUNO		
PROCEDENCIA	: SUELO NATURAL	SOLICITANTE	: Mg. EDWIN PARILLO ESCARSENA
CALICATA	: C - 01	COORDENADAS	
MUESTRA	: M - 01	ESTE	:
PROFUNDIDAD	: 1.70 m.	NORTE	:
		COTA	:
		TAMANO MÁXIMO	: 1/4 in
		NIVEL FREÁTICO	: -

TAMIZ	AASHTO T-27 (mm)	MASA RETENIDA	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACIÓN	ENSAYOS ESTÁNDAR DE CLASIFICACIÓN (D422 - D2216 - D4318 - D3282 - D2487)
10 in	254.000						Masa inicial seco : 232.7 gr
6 in	152.400						Masa Global : 232.7 gr
5 in	127.000						CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL SUELO
4 in	101.600						Contenido de Humedad (%): 7.5
3 in	76.200						TAMANO MÁXIMO: 1/4 in
2 1/2 in	60.350						Limite Líquido (LL): NP
2 in	50.800						Limite Plástico (LP): NP
1 1/2 in	38.100						Indice Plástico (IP): NP
1 in	25.400						Clasificación (SUCS): SP
3/4 in	19.000						Clasificación (AASHTO): A-1-b (0)
1/2 in	12.500						Índice de Consistencia: NP
3/8 in	9.500						DESCRIPCIÓN DEL SUELO
1/4 in	6.350				100.00		Descripción (AASHTO): BUENO
Nº 4	4.750	0.72	0.31	0.31	99.69		Descripción (SUCS): Arena pobremente gradada
Nº 8	2.360						Materia Orgánica:
Nº 10	2.000	5.78	2.48	2.79	97.21		Turba: --
Nº 16	1.190						CU: 3.724 CC: 1.186
Nº 20	0.840	27.49	11.81	14.61	85.39		CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS
Nº 30	0.600						Grava > 2": 0.00
Nº 40	0.425	113.52	48.78	63.39	36.61		Grava 2" - Nº 4: 0.31
Nº 50	0.300						Arena Nº4 - Nº 200: 94.92
Nº 60	0.250	45.20	19.42	82.81	17.19		Finos < Nº 200: 4.77
Nº 100	0.150	20.07	8.62	91.44	8.56		%>3": 0.0%
Nº 200	0.075	8.83	3.79	95.23	4.77		
< Nº 200	FONDO	1.00	0.43	95.66	4.34		

CURVA GRANULOMÉTRICA



Observaciones: LAS MUESTRAS Y DATOS FUERON PROPORCIONADOS POR EL RESPONSABLE DEL ESTUDIO.

G&C CONSULTORES Y CONTRATISTAS GENERALES S.A.C.

ING. ALEX LOUIS GÓMEZ GALLA
ESPECIALISTA EN GEOTECNIA Y ENSAYO DE MATERIALES
CIP Nº 209176



Anexo 3
ENSAYOS DE PROPIEDADES MECÁNICAS DEL SUELO



G&C CONSULTORES Y CONTRATISTAS GENERALES S.A.C.

G&C GEOTECHNIK MATERIAL TEST LABOR

LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN & ENSAYO DE MATERIALES

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

ESTÁNDAR TEST METHOD FOR DIRECT SHEAR TEST OF SOILS UNDER CONSOLIDATED DRAINED CONDITIONS (ASTM D 3080/D 3080-II)

PROYECTO	ANÁLISIS DE LA TÉCNICA DE LA ADICIÓN DE LA UREA EN LA : REMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS POR HIDROCARBUROS DE LA CIUDAD DE JULIACA - 2022	Registro N°	: UANCV_EPG-08/23-01:1-G&C
		Fecha	: 23 de agosto del 2023

DATOS GENERALES

UBICACIÓN	: CIUDAD DE JULIACA, DIST. JULIACA, PROV. SAN ROMÁN - DEP. PUNO		
PROCEDENCIA	: SUELO NATURAL	SOLICITANTE	: Mg. EDWIN PARILLO ESCARSENA
CALICATA	: C - 01	COORDENADAS	
MUESTRA	: M - 01	TAMANO MÁXIMO	: 1/4 in
PROFUNDIDAD	: 1.70 m.	NIVEL FREÁTICO	: -.-
		ESTE	:
		NORTE	:
		COTA	:

DATOS DE LA MUESTRA		DATOS DEL ENSAYO	
CLASIFICACIÓN SUCS	SP	VELOCIDAD DE ENSAYO	0,0509 mm/min
CLASIFICACIÓN AASHTO	A-1-b (0)	TIEMPO DE CORTE	200 min
ESTADO DE LA MUESTRA	INALTERADO	TIEMPO DE CONSOLIDACIÓN	24 Horas

DATOS DEL ESPECIMEN		ESPECIMEN 01		ESPECIMEN 02		ESPECIMEN 03	
		INICIO	FINAL	INICIO	FINAL	INICIO	FINAL
Diametro (φ) / ancho (b)	(cm)	5.09		5.09		5.09	
Area (A)	(cm ²)	25.91		25.91		25.91	
Densidad Seca (γ _d)	(g/cm ³)	1.612		1.625		1.621	
Humedad (w)	%	7.40	17.24	7.20	16.64	6.90	17.64
Esfuerzo Normal	(kg/cm ²)	0.50		1.00		2.00	

ESPECIMEN 01 [0,5kg/cm ²]				ESPECIMEN 02 [1kg/cm ²]				ESPECIMEN 03 [2kg/cm ²]			
Deformac.T angencial (mm.)	Carga Aplicada (kg)	Fuerza Cortante (kgf)	Esfuerzo de Corte (kg/cm ²)	Deformac.T angencial (mm.)	Carga Aplicada (kg)	Fuerza Cortante (kgf)	Esfuerzo de Corte (kg/cm ²)	Deformac.T angencial (mm.)	Carga Aplicada (kg)	Fuerza Cortante (kgf)	Esfuerzo de Corte (kg/cm ²)
0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00
0.13	0.50	0.500	0.02	0.13	2.50	2.500	0.10	0.13	9.00	9.000	0.35
0.25	1.00	1.000	0.04	0.25	3.50	3.500	0.14	0.25	14.00	14.000	0.54
0.38	1.00	1.000	0.04	0.38	5.50	5.500	0.21	0.38	20.00	20.000	0.77
0.51	2.50	2.500	0.10	0.51	7.50	7.500	0.29	0.51	23.00	23.000	0.89
0.64	3.00	3.000	0.12	0.64	9.00	9.000	0.35	0.64	25.50	25.500	0.98
0.76	4.50	4.500	0.17	0.76	11.00	11.000	0.42	0.76	27.00	27.000	1.04
0.89	4.50	4.500	0.17	0.89	12.00	12.000	0.46	0.89	27.00	27.000	1.04
1.02	5.00	5.000	0.19	1.02	13.00	13.000	0.50	1.02	27.50	27.500	1.06
1.14	5.00	5.000	0.19	1.14	13.50	13.500	0.52	1.14	28.00	28.000	1.08
1.27	4.50	4.500	0.17	1.27	13.50	13.500	0.52	1.27	27.50	27.500	1.06
1.52	4.50	4.500	0.17	1.52	13.00	13.000	0.50	1.52	27.00	27.000	1.04
1.78	4.00	4.000	0.15	1.78	12.00	12.000	0.46	1.78	27.00	27.000	1.04
2.03	4.00	4.000	0.15	2.03	11.00	11.000	0.42	2.03	25.50	25.500	0.98
2.29	3.50	3.500	0.14	2.29	10.50	10.500	0.41	2.29	25.00	25.000	0.96
2.54	3.50	3.500	0.14	2.54	9.50	9.500	0.37	2.54	23.00	23.000	0.89
3.18	3.00	3.000	0.12	3.18	9.00	9.000	0.35	3.18	21.00	21.000	0.81
3.81	2.50	2.500	0.10	3.81	8.00	8.000	0.31	3.81	20.00	20.000	0.77
4.45	2.50	2.500	0.10	4.45	8.00	8.000	0.31	4.45	19.00	19.000	0.73
5.08	2.50	2.500	0.10	5.08	7.50	7.500	0.29	5.08	19.00	19.000	0.73
5.72	2.50	2.500	0.10	5.72	7.50	7.500	0.29	5.72	19.00	19.000	0.73
6.35	2.50	2.500	0.10	6.35	7.00	7.000	0.27	6.35	19.00	19.000	0.73
6.99	2.50	2.500	0.10	6.99	7.00	7.000	0.27	6.99	18.00	18.000	0.69
7.62	2.50	2.500	0.10	7.62	7.00	7.000	0.27	7.62	17.50	17.500	0.68
8.26	2.00	2.000	0.08	8.26	7.00	7.000	0.27	8.26	17.50	17.500	0.68
8.89	2.00	2.000	0.08	8.89	7.00	7.000	0.27	8.89	17.50	17.500	0.68
9.53	2.00	2.000	0.08	9.53	6.50	6.500	0.25	9.53	16.50	16.500	0.64
10.16	2.00	2.000	0.08	10.16	6.50	6.500	0.25	10.16	16.50	16.500	0.64

Observaciones : LAS MUESTRAS Y DATOS FUERON PROPORCIONADOS POR EL RESPONSABLE DE LAS MUESTRAS

ING. ALEX LUIS GÓMEZ CALLA
ESPECIALISTA EN GEOTECNIA
Y ENSAYO DE MATERIALES
CIP N° 209176



G&C CONSULTORES Y CONTRATISTAS GENERALES S.A.C.

G&C GEOTECHNIK MATERIAL TEST LABOR

LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN & ENSAYO DE MATERIALES

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

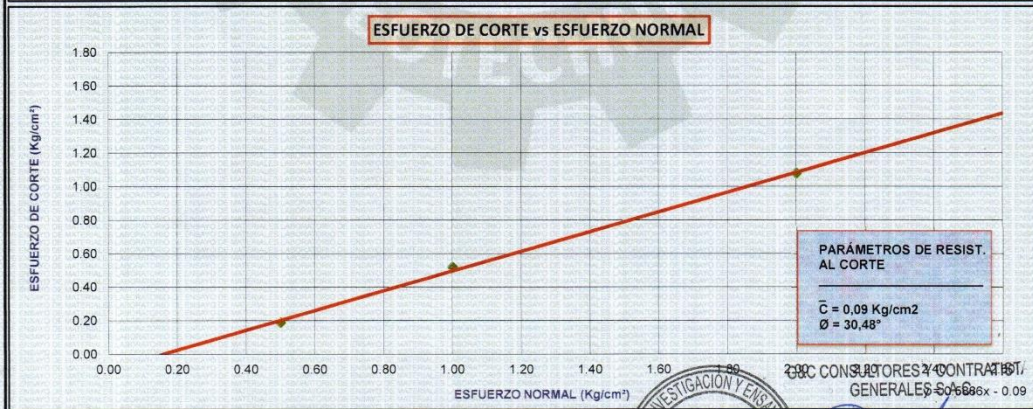
ESTÁNDAR TEST METHOD FOR DIRECT SHEAR TEST OF SOILS UNDER CONSOLIDATED DRAINED CONDITIONS (ASTM D 3080/D 3080-II)

PROYECTO	ANÁLISIS DE LA TÉCNICA DE LA ADICIÓN DE LA UREA EN LA REMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS POR HIDROCARBUROS DE LA CIUDAD DE JULIACA - 2022	Registro N°	: UANCV_EPG-08/23-01:1-G&C
		Fecha	: 23 de agosto del 2023

DATOS GENERALES			
UBICACIÓN	: CIUDAD DE JULIACA, DIST. JULIACA, PROV. SAN ROMÁN - DEP. PUNO		
PROCEDENCIA	: SUELO NATURAL	SOLICITANTE	: Mg. EDWIN PARILLO ESCARSENA
CALICATA	: C - 01	TAMANO MÁXIMO	: 1/4 in
MUESTRA	: M - 01	NIVEL FREÁTICO	: --
PROFUND.	: 1.70 m.	COORDENADAS	
		ESTE	:
		NORTE	:
		COTA	:

DATOS DE LA MUESTRA		DATOS DEL ENSAYO	
CLASIFICACIÓN SUCS	: SP	VELOCIDAD DE ENSAYO	: 0,0509 mm/min
CLASIFICACIÓN AASHTO	: A-1-b (0)	TIEMPO DE CORTE	: 200 min
ESTADO DE LA MUESTRA	: INALTERADO	TIEMPO DE CONSOLIDACIÓN	: 24 Horas

GRAFICOS DEL ENSAYO



Observaciones: LAS MUESTRAS Y DATOS FUERON PROPORCIONADOS POR EL RESPONSABLE DEL ESTUDIO.



ING. ALXELUIS GÓMEZ CALLA
ESPECIALISTA EN GEOTECNIA
Y ENSAYO DE MATERIALES
CIP N° 209176



G&C CONSULTORES Y CONTRATISTAS GENERALES S.A.C.

G&C GEOTECHNIK MATERIAL TEST LABOR
LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN & ENSAYO DE MATERIALES



MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA MEDIR LA RIGIDEZ Y EL MÓDULO APARENTE DEL SUELO Y AGREGADO-SUELO EN CAMPO POR MÉTODO ELECTROMEQUÍNICO (NORMA ASTM - D6758-18e1)

DATOS GENERALES

PROYECTO	: ANALISIS DE LA TÉCNICA DE LA ADICIÓN DE LA UREA EN LA REMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS POR HIDROCARBUROS DE LA CIUDAD DE JULIACA - 2022
SOLICITANTE	: Mg. EDWIN PARILLO ESCARSENA
UBICACIÓN	: URB. JESÚS DE NAZARENO MZ - C, LT - 10
FECHA	: 23 DE AGOSTO DEL 2023

DATOS DE LA MUESTRA

NIVEL	TERRENO NATURAL	PRUEBA N°	: 01	PROFUNDIDAD	1.70 m.
ELEMENTO	FUNDACION	N° DE IMPACTOS	: 02		

N°	ELEMENTO	DENSIDAD NATURAL	E	MR	PROMEDIO E	PROMEDIO MR	CLASIFICACION (1)
1	TERRENO NATURAL ALTURA DE FUNDACION	1.75	43.32	4.99	44.96	5.18	SP
2	TERRENO NATURAL ALTURA DE FUNDACION	1.75	46.60	5.37			SP

N°	ELEMENTO	MÓDULO ELÁSTICO (Young's) [MPa]	RIGIDEZ DEL SUELO (Mr) [MN/m]	COEFICIENTE DE POISSON	MODULO DE CORTE G [Mpa]	CBR 0.1 in. [%]
1	TERRENO NATURAL ALTURA DE FUNDACION	43.32	4.99	0.37	15.77	11%
2	TERRENO NATURAL ALTURA DE FUNDACION	46.60	5.37	0.37	16.96	12%



G&C CONSULTORES Y CONTRATISTAS GENERALES S.A.C.

ING. ALEX LUIS GÓMEZ CALLA
ESPECIALISTA EN GEOTECNIA Y ENSAYO DE MATERIALES
CIP N° 209176



G&C CONSULTORES Y CONTRATISTAS GENERALES S.A.C.

G&C GEOTECHNIK MATERIAL TEST LABOR
LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN & ENSAYO DE MATERIALES



CAPACIDAD DE CARGA - Cimentación Superficial

Cota de Superficie (m) : 0.00
Fecha : 23/08/2023

A.- DATOS GENERALES

Ángulo de Fricción Interna (Φ)	30.48	grados
Cohesión (c)	0.090	kg/cm ²
Tipo de falla por corte	General	
Ángulo de Fricción Interna corregido (Φ_c)	30.5	grados
Cohesión corregida (c) _c	0.09	kg/cm ²
Peso Unitario de Sobre Carga (γ_1)	1.62	gr/cm ³
Peso Unitario del Suelo de Cimentación (γ_2)	1.62	gr/cm ³
Relación Ancho / Largo (B/L)	1.00	(1.0 si es circular o cuadrada)
Ancho (diámetro) Inicial de la Cimentación	1.50	m
Incremento de base (Δb)	0.50	m
Cota de Terreno bajo piso terminado	0.00	m
Profundidad de Desplante (Df)	1.50	m (0.0 si es indeterminado)
Incremento de profundidad (ΔDf)	0.50	m
Posición del Nivel Freático (N.F.)	1.0	m (50m si no presenta)
Inclinación de la carga	0.0	grados
Factor de Seguridad (F.S. asume 3.0)	3.00	
Clasificación SUCS del suelo de cimentación	SP	
Cimentación sugerida	Zapata Cuadrada	

B.- FACTORES DE CAPACIDAD DE CARGA

$$N_c = 31.321 \quad N_c = (N_t - 1) \cot \phi$$

$$N_q = 19.435 \quad N_q = \frac{1}{2} \gamma \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) e^{r \tan \phi}$$

$$N_y = 16.275 \quad N_y = 2(N_t + 1) \gamma \tan \phi$$

C.- FACTORES DE FORMA

$$S_c = 1.621 \quad S_c = 1 + \frac{B \cdot N_q}{L \cdot N_c}$$

$$S_q = 1.589 \quad S_q = 1 + 0.4 \frac{B}{L}$$

$$S_y = 0.600 \quad S_y = 1 + \frac{B}{L} \tan \phi$$

D.- FACTORES DE INCLINACIÓN

$$i_c = 1.000 \quad i_c = i_q = \left(1 - \frac{\beta}{90} \right)^2$$

$$i_q = 1.000$$

$$i_y = 1.000 \quad i_y = \left(1 + \frac{\beta}{\phi} \right)^2$$

E.- COEFICIENTES DE PRESION LATERAL

$$K_a = 0.327$$

$$K_p = 3.059$$

$$K_o = 0.493$$

NOTA: Coeficientes de empuje encontrados según Rankine.

F.- CAPACIDAD ADMISIBLE

Cimentación sugerida Zapata Cuadrada

COTA RELATIVA	DESPLANTE Df (m)	ANCHO B (m)	FACTORES POR N.F.		q _a (kg/cm ²)	q _{adm} (kg/cm ²)	Detalle
			W	W'			
-1.50	1.50	1.5	0.83	0.50	7.28	2.43	Zapata Cuadrada
-1.50	1.50	2.0	0.83	0.50	7.47	2.49	
-1.50	1.50	2.5	0.83	0.50	7.67	2.56	
-2.00	2.00	1.5	0.75	0.50	8.55	2.85	
-2.00	2.00	2.0	0.75	0.50	8.75	2.92	
-2.00	2.00	2.5	0.75	0.50	8.95	2.98	
-2.50	2.50	1.5	0.70	0.50	9.80	3.27	
-2.50	2.50	2.0	0.70	0.50	10.00	3.33	
-2.50	2.50	2.5	0.70	0.50	10.20	3.40	
-3.00	3.00	1.5	0.67	0.50	11.10	3.70	
-3.00	3.00	2.0	0.67	0.50	11.30	3.77	
-3.00	3.00	2.5	0.67	0.50	11.50	3.83	
-3.50	3.50	1.5	0.64	0.50	12.40	4.15	
-3.50	3.50	2.0	0.64	0.50	12.60	4.21	
-3.50	3.50	2.5	0.64	0.50	12.80	4.27	



G&C CONSULTORES Y CONTRATISTAS GENERALES S.A.C.

ING. ALEX LUIS GÓMEZ CALLA
ESPECIALISTA EN GEOTÉCNIA
Y ENSAYO DE MATERIALES
CIP N° 209176



G&C CONSULTORES Y CONTRATISTAS GENERALES S.A.C.

G&C GEOTECHNIK MATERIAL TEST LABOR

LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN & ENSAYO DE MATERIALES



DE LAS ROCAS INGS S.A.C. G.- ASENTAMIENTO (S_i)

Presión por carga admisible		q_{adm}	=	2.43	Kg/cm ²	
Relación de Poisson	*	μ	=	0.37		
Módulo de Elasticidad	*	E_s	=	449.6	Kg/cm ²	
Asentamiento permisible		$S_i(max)$	=	2.54	cm	
Ancho de la cimentación		B	=	1.50	m	
Factor de forma		I_f	=	0.93	m/m	
Asentamiento		S_i	=	0.002	m	
Asentamiento		S_i	=	0.21	cm	
Presión por carga		q_{adm}	=	2.43	Kg/cm ²	
Presión de carga asumida por asentamiento		q_{adm}	=	0.80	Kg/cm ²	
		S_i	=	0.65	cm	OK !
		S_i	=	0.21	cm	OK !

$$S_i = \frac{q B (1 - \mu^2)}{E_s} I_f$$

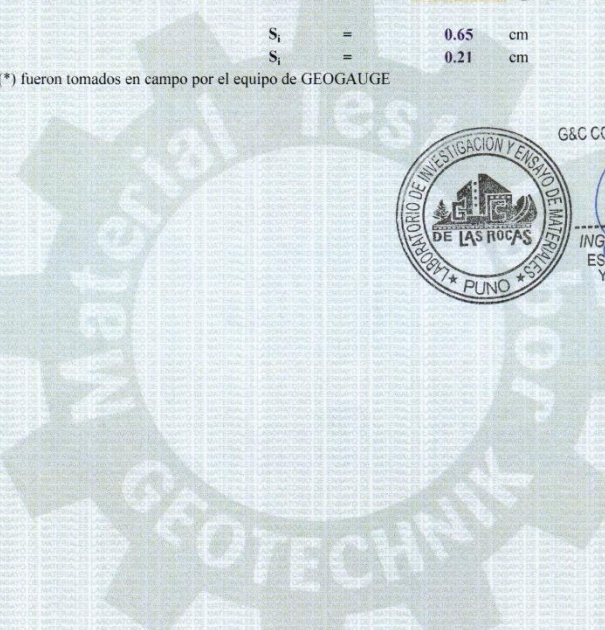
$$I_f = \frac{\sqrt{L}}{\beta_s}$$

Nota: los valores de (*) fueron tomados en campo por el equipo de GEOGAUGE



G&C CONSULTORES Y CONTRATISTAS GENERALES S.A.C.

Alex Luis Gómez Calla
ING. ALEX LUIS GÓMEZ CALLA
ESPECIALISTA EN GEOTECNIA
Y ENSAYO DE MATERIALES
CIP N° 209176



Anexo 4 ANÁLISIS QUÍMICO DEL SUELO



UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
LABORATORIO DE LA E.P. DE INGENIERIA AMBIENTAL
Carretera Salida a Arequipa Km. 6 Chullunquiáni, Autopista Héroes de la Guerra del Pacífico

ANÁLISIS DE SUELO

Solicitante: Mgtr. Edwin Parillo Escarsena

Análisis de: Suelo

Fecha de extracción: 13/11/2022

Fecha de recepción: 27/03/2023

Condiciones de llegada: Buenas

Extraídas por: El solicitante

Lugar de muestreo: Urb. Jesús Nazareno Mz "C" lote -10

Muestra conservada: Si

1^{er} Muestreo

PARAMETRO	UNIDADES	METODO ANALÍTICO	MUESTRAS				
			M-1 suelo o sedimento	M-2 suelo contaminado 16.67ml/kg (petróleo)	M-3 sed + nutriente 500gr	M-4 sed + nutriente 1000gr	M-5 sed + nutriente 1500gr
pH		Método potenciométrico	7.50	6.88	7.20	7.23	7.10
Humedad	%	Método termogravimétrico	2.02	1.22	1.10	1.04	0.74
Conductividad eléctrica	uS/cm	Método conductimétrico	39.7	68.9	90.2	83.4	26.1
Nitrógeno		Kit LaMotte	50	30	70	50	22
Fosforo		Kit LaMotte	120	130	132	140	150
Potasio		Kit LaMotte	140	140	140	100	70
Textura		Manual	Arenosa	Arenosa	Arenosa	Arenosa	Arenosa

2^{do} Muestreo

PARAMETRO	UNIDADES	METODO ANALÍTICO	MUESTRAS				
			M-1 suelo o sedimento	M-2 suelo contaminado 16.67ml/kg (petróleo)	M-3 sed + nutriente 500gr	M-4 sed + nutriente 1000gr	M-5 sed + nutriente 1500gr
pH		Método potenciométrico	9.16	9.07	8.17	8.11	8.07
Humedad	%	Método termogravimétrico	2.19	1.43	1.25	1.16	0.99
Conductividad eléctrica	uS/cm	Método conductimétrico	168.2	218.4	189.7	186.5	125.8
Nitrógeno		Kit LaMotte	15	25	40	40	60
Fosforo		Kit LaMotte	100	125	125	150	150
Potasio		Kit LaMotte	100	100	120	100	75
Textura		Manual	Arenosa	Arenosa	Arenosa	Arenosa	Arenosa



3^{er} Muestreo

PARAMETRO	UNIDADES	METODO ANALÍTICO	MUESTRAS				
			M-1 suelo o sedimento	M-2 suelo contaminado 16.67ml/kg (petróleo)	M-3 sed + nutriente 500gr	M-4 sed + nutriente 1000gr	M-5 sed + nutriente 1500gr
pH		Método potenciométrico	8.01	8.43	8.54	8.18	7.94
Humedad	%	Método termogravimétrico	2.38	1.54	1.36	1.24	1.15
Conductividad eléctrica	uS/cm	Método conductimétrico	348	143.8	500	372	233
Nitrógeno		Kit LaMotte	20	30	45	50	70
Fosforo		Kit LaMotte	125	125	135	150	200
Potasio		Kit LaMotte	110	125	125	110	80
Textura		Manual	Arenosa	Arenosa	Arenosa	Arenosa	Arenosa

ADVERTENCIA:

Este laboratorio no asume ninguna responsabilidad sobre aspectos relacionados con el uso final de la información suministrada.

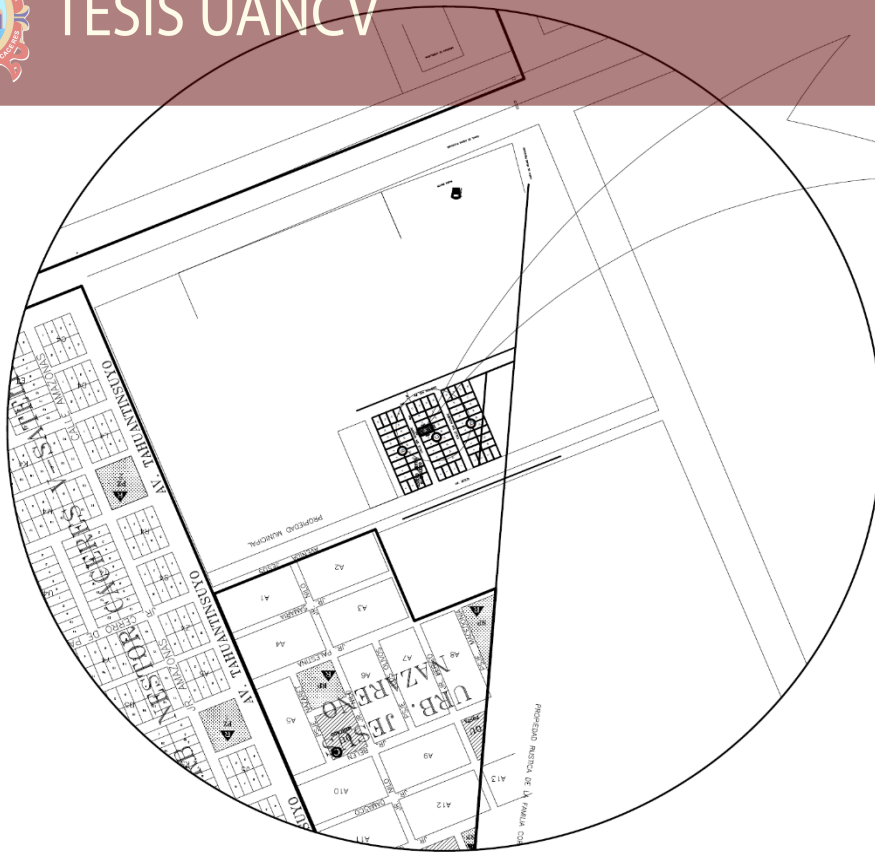
FECHA: 20/04/2023

Nota: La firma institucional avala que el informe técnico pertenece a la institución.

Jefe de Laboratorio
ING. AMBIENTAL - UPeU FJ

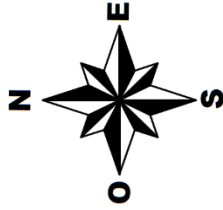


APÉNDICES



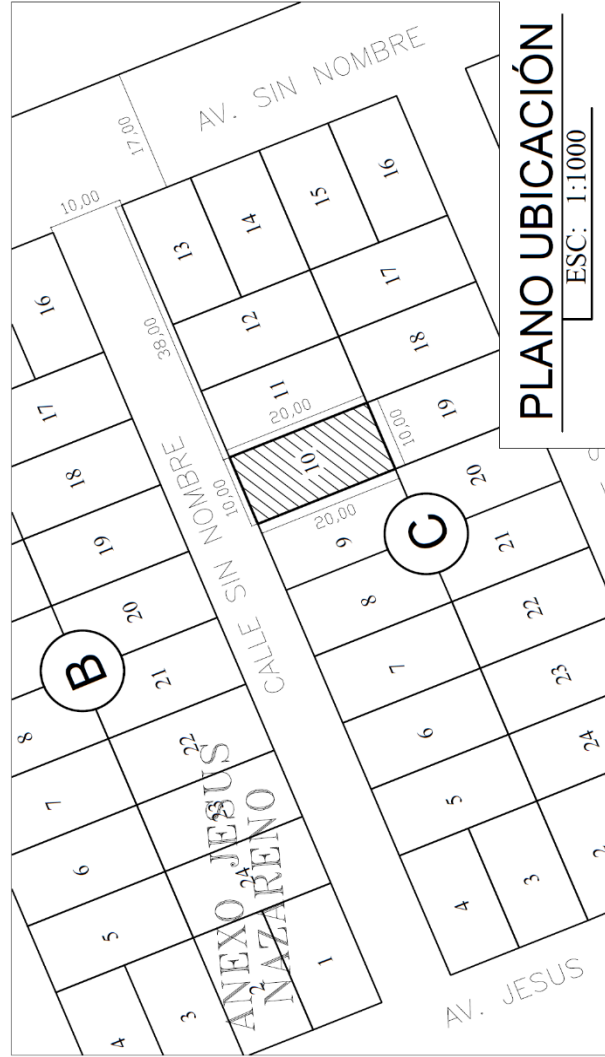
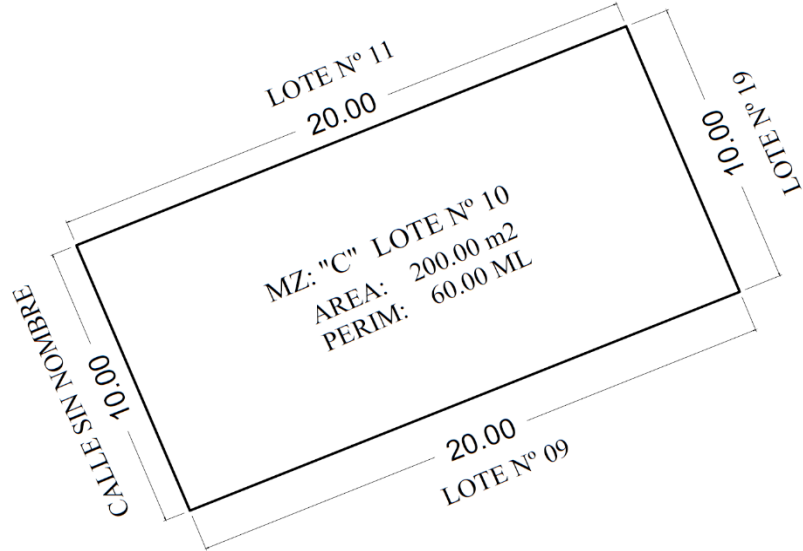
PLANO DE LOCALIZACIÓN

ESC: 1:10,000



PLANO PERIMÉTRICO

ESC: 1:250



PLANO UBICACIÓN

ESC: 1:1000

UBICACION: Departamento : PUNO Provincia : SAN ROMAN Distrito : JULIACA	LOCALIZACIÓN - UBICACIÓN - PERIMÉTRICO
PROYECTO: ANÁLISIS DE LA TÉCNICA DE LA ADICIÓN DE LA UREA EN LA REMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS POR HIDROCARBUROS DE LA CIUDAD DE JULIACA - 2022	PROPIETARIO: CIPRIANO PARILLO PANCCA Y ESPOSA DIRECCION: URB. "ANEXO JESUS NAZARENO" MZ. "C", LOTE N° 10 CALLE SIN NOMBRE
ESCALA: INDICADA	FECHA: DICIEMBRE - 2023
DIBUJO CAD: E. P. E.	NO VALIDO PARA TRAMITES FOMIALES



ANEXO 1
FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

AUTORIZACIÓN PARA LA INCORPORACIÓN DE LOS
TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN
EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UANCV

Formato digital

Fecha de entrega: 17/09/2024

1. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos: EDWIN PARILLO ESCARSENA

Dirección: JR. COLLASUYO N° 225 - URB. TAHUANTINSUYO

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 45648306

Teléfono: 951651404 email: edpaes23@gmail.com

Nombres y Apellidos: _____

Dirección: _____

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: _____

Teléfono: _____ email: _____

Facultad y/o Escuela de Posgrado: DOCTORADO EN CIENCIAS E INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL

Escuela Profesional o Mención: _____

Título o Grado Académico a optar: DOCTOR EN CIENCIAS E INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL

Asesor: Dr. RAMIRO AMILCAR BOLAÑOS CALDERON

Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:

Trabajo de Investigación Tesis Trabajo de Suficiencia Profesional Trabajo Académico

Título: ANÁLISIS DE LA TÉCNICA DE LA ADICIÓN DE LA UREA EN LA REMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS POR HIDROCARBUROS DE LA CIUDAD DE JULIACA - 2022

Palabras claves, (3 a 5 términos): CONTAMINACIÓN DEL SUELO, UREA, REMEDIACIÓN, LANDFARMING.

¿Esta obra se desarrolló en la UANCV ^{1,2}?

2

¹ Indicar si su producción intelectual ha empleado recursos tales como, instalaciones, laboratorios, insumos, equipos, bases de datos, asesoría técnica por parte del personal de la UANCV, financiamiento, entré otros relacionados.

² Si su producción intelectual se desarrolló en la UANCV totalmente o parcialmente, deberá autorizar el depósito en el Repositorio de manera obligatoria.



2. Referencia de tesis:

- Bachiller
- Título
- 2da Especialidad
- Maestría
- Doctorado

3. Licencias:

a) Licencia estándar:

Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi tesis en el Repositorio Digital de la UANCV.

Con la autorización de depósito de mi producción Intelectual, otorgo a la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" una licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi producción intelectual (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Digital de tesis UANCV, colección de producción intelectual, entre otros, en el Perú y en el extranjero por el tiempo y veces que considere necesarias, y libres de remuneraciones.

En virtud de dicha licencia, la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" podrá reproducir mi producción intelectual en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que la producción intelectual es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicha producción intelectual no infringe derechos de autor de terceras personas.

La Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" consignará el nombre del y/o los autor(es) de la producción intelectual, y no le hará ninguna modificación más que la permitida en la licencia.

Autorizo su publicación (marque con una X)

- Sí, autorizo que se deposite inmediatamente.
- Sí, autorizo que se deposite a partir de la fecha (d/m/a): _____
- No autorizo.

b) Licencia CREATIVE COMMONS 4.0 INTERNACIONAL:

Si usted concede una licencia CREATIVE COMMONS sobre su producción intelectual, mantiene la titularidad de los derechos de autor de esta y, a la vez, permite que otras personas puedan reproducirla, comunicarla al público y distribuir ejemplares de esta, bajo las condiciones siguientes:

¿Quiere permitir usos comerciales de su producción intelectual?

Sí: significa que usted permite la reproducción, distribución y comunicación pública de la producción intelectual incluso con fines comerciales.

No: significa que usted permite la reproducción, y comunicación pública de la producción intelectual, pero sin fines comerciales.

- Sí autorizo
- No autorizo



Jurisdicción de su Licencia

Todas las licencias CREATIVE COMMONS son de ámbito mundial, sin embargo, usted puede elegir entre la opción “internacional” o una adaptada a su jurisdicción, como para el caso peruano.

La opción “internacional” emplea el lenguaje y la terminología de los tratados internacionales; en cambio, la adaptada a su jurisdicción, recoge las particularidades de la legislación peruana.

En consecuencia, la opción “internacional” goza de una mayor eficacia a nivel mundial, gracias a que tiene jurisdicción neutral. Mientras que la opción adaptada a la jurisdicción del Perú goza de una mayor eficacia ante los tribunales peruanos.

Internacional

Nacional

Línea de investigación: CONTAMINACIÓN y CALIDAD AMBIENTAL - P67


Firma de Autor



huella digital

17/09/2024
Fecha